

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Sídlo firmy s výrobní halou

Registered office with a production hall

Student:

Bc. Martin Lerch

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Lerch**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Sídlo firmy s výrobní halou**
Registered office with a production hall

Zásady pro vypracování:

Návrh a posouzení skeletu průmyslového montovaného železobetonového objektu s navazující administrativní částí z monolitického železobetonu sloužící jako sídlo firmy včetně administrativního a sociálního zázemím výrobní haly.

Práce bude řešit provozní a typologické návaznosti obou částí objektů a provedení statického výpočtu včetně dimenzování vybraných prvků konstrukce.

Bude doložena reprezentativní výkresová dokumentace:

- půdorys stavby
- řezy
- část stropní konstrukce (skrytý průvlak), deska, sloup, patka, krátká konzola sloupu, střešní vazník ze železového betonu

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČSN EN 1991-1-6 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení
Zatížení během provádění,
2. ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1:
Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
3. ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení,
4. Kolektiv autorů: Navrhování betonových konstrukcí 1, prvky z prostého
a železového betonu (dimenzování dle EN 1992-1-1). ČSBS, Praha 2006, (upravené vydání 2007).
5. Martin, L. H., Purkiss, J.A.: Concrete Design to EN 1992, Elsevier, 2006.
6. Lohmeyer, C. O. G. – Bergmann, H. – Ebeling, K.: Stahlbetonbau. Bemessung – Konstruktion
– Ausführung, 7.Auflage, B. G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2006.
7. Bažant Z., Bradáč J. a kol: Plošné betonové konstrukce. CERM s.r.o., VUT Brno, 1998.
8. Bradáč J.: Základové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., 1994.


Další platné evropské normy a předpisy související.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2012

Datum odevzdání: 30.11.2012


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2012

.....

Bc. Martin Lerch

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu
- s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu
- využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle
- zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Anotace:

Lerch, M.: *Sídlo firmy s výrobní halou*; 54 stran formátu A4, diplomová práce; Ostrava, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, katedra konstrukcí, 2011; vedoucí práce Kubečka K.

Tématem práce je Sídlo firmy s výrobní halou. Obsahem práce je návrh průmyslového objektu skládající se z administrativní železobetonové monolitické části a výrobní prefabrikované haly. Skeletový a prefabrikovaný systém jsou navrženy dle ČSN EN 1990. Diplomová práce je členěna do pěti základních kapitol. Začátek se práce věnuje teoretické části popisu vstupních parametrů a metod výpočtu jednotlivých konstrukčních prvků. Třetí kapitola je samostatně zaměřena na návrh monolitické konstrukce administrativní části. Čtvrtá kapitola ukazuje návrh prefabrikované haly s ohledem na požadavek mostního jeřábu. Závěr jako pátá kapitola shrnuje po teoretické stránce výsledky jednotlivých předchozích kapitol.

Annotation:

Lerch, M.: *Head Office with a production hall*, 54 pages A4, thesis, Ostrava, VSB - TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of structures, 2011; supervisor Kubečka K.

The theme of the work is Headquarters with a production hall. Content of the work is to design an industrial building that consists of monolithic administrative and prefabricated production hall. Skeletal and prefabricated systems are designed according to DIN EN 1990. The thesis is divided into five main chapters. The beginning of the work is dedicated to the theoretical description of the input parameters and methods for calculating individual structural elements. The third chapter is focused on the design of administration building monolithic construction. The fourth chapter shows the design of prefabricated building with respect to the requirement of bridge crane. Finally the fifth chapter summarizes the theoretical side the results of the previous chapters.

Obsah

1	Specifikace.....	3
1.1	MATERIÁLY	3
1.2	ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA.....	6
1.3	VÝROBNÍ HALA	8
2	Návrh monolitické konstrukce.....	12
2.1	ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	12
2.2	SLOUPY	17
2.3	DESKA 1.NP.....	64
2.4	SKRYTÝ PRŮVLAK	81
2.5	ZÁKLADOVÉ PATKY	89
3	Návrh konstrukční prvků výrobní haly.....	97
3.1	ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	97
3.2	STŘEŠNÍ VAZNÍKY	99
3.3	SLOUPY	104
3.4	KONZOLA	111
3.5	ZTUŽIDLO.....	116
3.6	ZÁKLADOVÁ PATKA	118
3.7	ZÁKLADOVÝ TRÁM POD ZTUŽUJÍCÍ ZEĎ.....	122
3.8	SMYKOVÁ ZTUŽUJÍCÍ STĚNA HALY	126
4	Závěr.....	128
5	Citovaná literatura	129
6	Seznam obrázků.....	131
7	Seznam tabulek.....	133
8	Seznam příloh.....	134
9	Seznam výkresů.....	138

1 Úvod

Obsahem diplomové práce je návrh průmyslového objektu skládající se z administrativní a výrobní části, pro firmu zabývající se strojní výrobou. Administrativní část objektu bude tvořit monolitický skelet, na nějž bude navazovat výrobní hala, která je navržena z prefabrikovaných konstrukčních prvků.

Práce si dává za cíl ukázat návrh monolitických a prefabrikovaných konstrukcí dle ČSN 1992-1-1 spočívající v různých vlivech vstupujících do výpočtu, tedy zvětšení krycí vrstvy výztuže, manipulační zatížení při přepravě prefabrikátů nebo zohlednění podélného ztužení haly pomocí ztužující stěny a posouzení z hlediska mezního stavu únosnosti.

Důvodem výběru tématu diplomové práce je aktuální potřeba firem vyrábějící stojní zařízení na rozšiřování výrobních kapacit, a rychlá realizace těchto požadavků. Zvolená technologie umožňuje těmto požadavkům vyhovět hlediska časových dispozic výstavby. V neposlední řadě byly kombinované konstrukční systémy zvoleny též s ohledem na jejich časté využití v Olomouckém kraji a také s ohledem na možnost autorovy spolupráce s firmou IP systém a. s., která tyto objektu navrhuje a provádí.

Diplomová práce bude rozdělena do tří částí. První část je věnována vstupním parametrům výpočtu a popis jednotlivých částí konstrukčních prvků včetně charakteristiky vlastních objektů. Obsahem druhé části je monolitická konstrukce administrativní části, návrh a posouzení jednotlivých konstrukčních částí objektu. Třetí část pojednává o návrhu a posouzení prefabrikovaných prvků výrobní haly, která navazuje na administrativní část.

2 Specifikace

V této kapitole budou specifikovány vstupní parametry a hodnoty, které jsou použity ve výpočtech i přesto, že v průběhu výpočtu je na některé tyto hodnoty částečně poukázáno, ale pouze z hlediska dané konkrétní návrhové situace. Veškeré vstupní parametry se řídí dle ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí [1].

2.1 Materiály

Základní materiály užití při výpočtech jsou betonářská ocel 10 505(B500B) a beton C30/37 a C40/50.

2.1.1 Betonářská ocel

U navrhování konstrukcí dle [1] se podařilo sjednotit postupy a značení. V oblasti betonářské výztuže tomu tak není, jelikož mnoho zemí do svých technologií výroby investovalo nemalé částky, které by se s příchodem případné Evropské unifikace výroby oceli ještě navýšily. V této době jsou předjednány zásady charakteristiky, avšak bez přesné kvalifikace hodnot jednotlivých typů betonářské výztuže. V EN 1992 jsou proto uvedena rozmezí charakteristických hodnot, kterým musí výztuž vyhovovat, při navrhování betonových konstrukcí. V nynější době jsou vývojové trendy výztuže dále jako např. výztuž pozinkovaná nebo z legované oceli, pro tyto zatím není postupů pro specifikaci do výpočtu. V České republice se vyrábí betonářská ocel dle ČSN 420139 z roku 1977, jejíž značení tvořeno pěti místným číslem. První dvojčíslí je třída oceli. U betonářské oceli udává tato hodnota 1/10 hodnoty meze kluzu v MPa. Na páté pozici udává číslo vlastnosti výztuže v rozmezí 5 až 9. Betonářská ocel vyráběna dle výše uvedené ČSN vč. požadavků uvedené v EN 10080[2]. Podle evropské normy [2] je značení udávající na první pozici písmeno, které udává skupinu oceli (B- betonářská ocel), pak následuje hodnota meze kluzu v MPa a na posledním místě je třída tažnosti.

Pro navrhování betonových konstrukcí dle EN 1992-1-1 [3] jsou důležité charakteristické vlastnosti jako je mez kluzu, tažnost, ohýbatelnost, soudržnost, tolerance, svařitelnost. Tyto vlastnosti jsou shrnuty v tabulce Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Požadované vlastnosti betonářské výztuže [2]

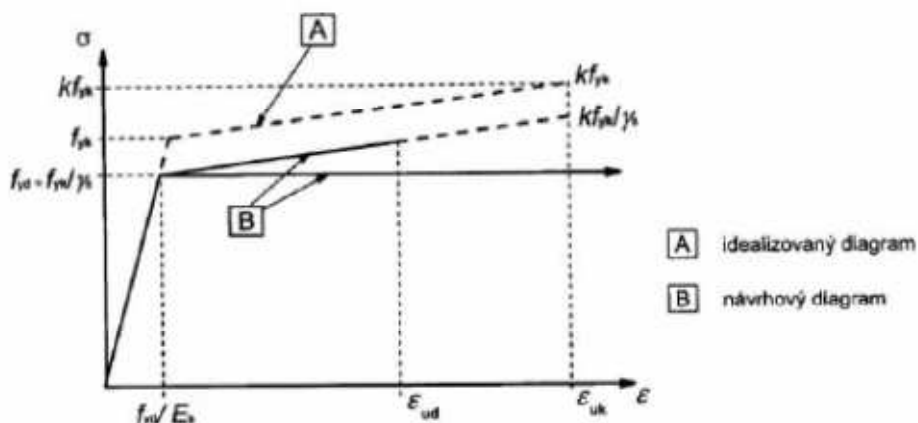
Výrobek		Tyče a vyrovnané svitky			Svařované sítě			Kvantil %
Třída tažnosti		A	B	C	A	B	C	-
Charakteristická mez kluzu f_{yk} , popř. $f_{0,2k}$ [MPa]		400 až 600						5,0
Minimální hodnota $k = (f_t / f_y)_k$		$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10
Charakteristická hodnota ε_{uk} [%]		$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10
Rozmezí únavového napětí (pro $N \geq 2 \cdot 10^6$ cyklů s horní mezí $\beta f_{yk}^{1)}$		≥ 150 MPa			≥ 100 MPa			10
Ohýbatelnost		zkouška ohybem ³⁾			-			
Pevnost svaru ve střihu		-			$0,3 A^{2)} f_{yk}$			minimum
Soudržnost: minimální vztažná plocha žebírek $f_{R,min}$	Vložka \varnothing [mm]	0,035 0,040 0,056						5,0
	5 – 6							
	6,5 – 12							
	> 12							
Max. odchylka hmotnosti, jedno- tlivá vložka v %	Vložka \varnothing mm	$\pm 6,0$ $\pm 4,5$						5,0
	≥ 8							
	> 8							

¹⁾ Hodnota β - doporučená hodnota uvedená v EN 1992-1-1 [9] je $\beta = 0,6$.

²⁾ A je průřezová plocha drátu.

³⁾ Zkouška zpětným ohybem podle EN 10080 [29b], průměr trnu podle EN 1992-1-1 [9].

Ve výpočtu pro betonářskou ocel byl užit diagram s vodorovnou větví.



Obr. 2.1 Schéma pracovních diagramů betonářské oceli [3]

Pro klasifikaci konstrukční třídy byla zohledněna poznámka v [3] na str. 49, proto je zvolena do výpočtu konstrukční třída S4 a prostředí XC1, jelikož používáme hodnotu betonu vyšší než je předepsaná v Tabulce E.1 CZ v lit.[3] je hodnota minimálního krytí výztuže $c_{min,dur}=10$ mm. Zvětšení krycí vrstvy s přihlédnutím možné toleranci Δc_{dev} je uvažována hodnota 10 mm u monolitické konstrukce dle doporučení ČSN EN 1992-1-1[3], u prefabrikovaných prvků haly byla tato hodnota redukována na 5 mm, jelikož jsou zajištěny kontrolní mechanismy při výrobě zabezpečující kvalitu prvků.

2.1.2 Beton

Kvalita betonu se řídí dle ČSN EN 206-1[4]. Základními ukazateli v označení betonu je krychelná a válcová pevnost. U zvoleného betonu se jedná o beton třídy C30/37 u skeletu a C40/50 u výrobní haly. Pevnost závisí obecně na jakosti kameniva, jakosti cementu (CEM II -32,5), přesném dávkování složek, kvalitě výroby apod. Maximální velikost zrna betonu D_{\max} je 22 mm. Vliv prostředí na určení třídy betonu, jak bylo uvedeno výše, je stanoveno XC1- vnitřní konstrukce s malou vlhkostí, která reálně odpovídá kancelářskému provozu se vzduchotechnikou. Kvalita konzistence podle sednutí kužele je S3(100 až 150 mm). Maximální vodní součinitel w/c je 0,55 pro třídu C30/37, 0,45 pro třídu C40/50.

Ve výpočtu je uvažováno rovnoměrné napětí v tlačené oblasti průřezu o výšce λx , kde $\lambda = 0,8$, dále byl zanedbán beton v tahu a je užit předpoklad spolupůsobení betonu výztuže tzn., že poměrné přetvoření výztuže stejné jako poměrné přetvoření vláken betonu u výztuže. Další hodnoty vstupující do výpočtu jsou součinitel tlakové pevnosti $\eta = 1,0$ (do třídy C50/60) a velikost mezního stlačení $\epsilon_{cu} = 0,0035$.

U dotvarování a smršťování betonu při výpočtu konečného součinitele φ_{ef} je hodnota staří betonu t_0 při začátku zatěžování 28 dní a staří betonu v daném okamžiku t je uvažováno 80 let (29 200 dnů).

Tab. 2.2 Vybrané pevnostní a deformační charakteristiky použitých betonů

Značka betonu	f_{ck} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	E_{cm} (GPa)	ϵ_{cu} (‰)
C30/37	30	2,9	2,0	32	3,5
C40/50	40	3,5	2,5	35	3,5

2.2 Administrativní budova



Obr. 2.2 Konstrukce administrativní budovy

Administrativní část sídla výrobní firmy tvoří monolitický skelet o třech podlažích založený na základových patkách o rozměrech 15,6 x 20,7 m viz Obr. 2.2. Konstrukční výška jednotlivých podlaží je 3,75 m. Celková výška stavby vč. atiky je 11,60 m. Obdélníkový půdorys byl zvolen pro lepší tvarovou návaznost na výrobní halu, která je součástí firemního komplexu. Desky jednotlivých podlaží jsou ustupující pro vytvoření vchodového atria, kde bude vidět z jednotlivých podlaží přes prosklené příčky. Celá konstrukce bude z lehkého obvodového pláště od firmy REMA spol. s.r.o. Celý objekt je koncipován pro kancelářský provoz malého podniku přibližně s 50 zaměstnanci. Dispozice jednotlivých podlaží byla dle požadavku investora navržena otevřená, pro tzv. open office. Na základě tohoto, byly do výpočtu zahrnuty přemístitelné příčky 1,2 kN/m² z důvodu větší objemové hmotnosti příček vyplývající z požadavku na větší kročejovou neprůzvučnost. Osová vzdálenost v obou směrech byla navržena 5 m.

2.2.1 Základové patky

Základové patky budou posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti, aby nedošlo k překročení pevnosti základové a tím vzniku smykových a půdy, které by měly za následek zaboření základu do půdy. Vycházíme ze splnění základního požadavku $\sigma_{de} \leq R_d$.

2.2.2 Sloupy

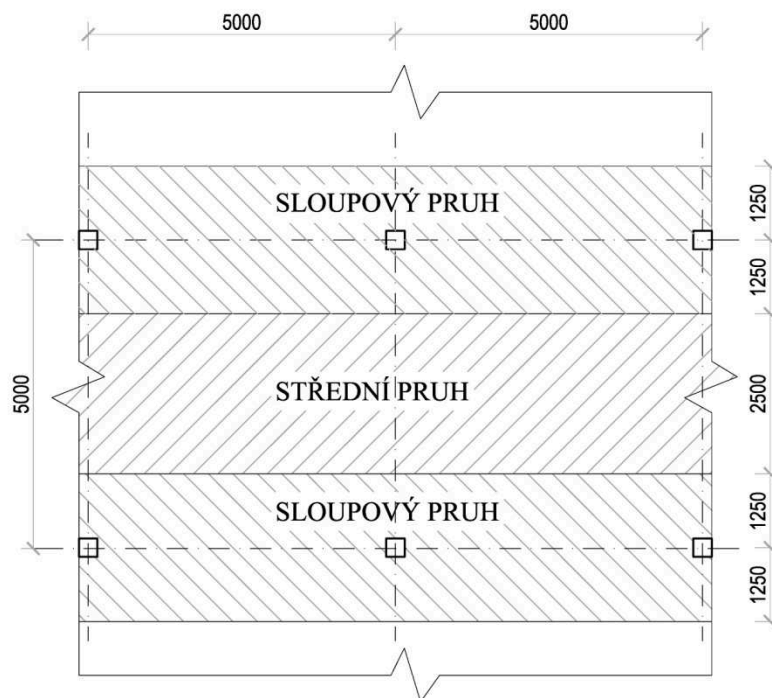
Sloupy v přední části skeletu navrženy v celé výšce budovy o rozměrech 400 x 400 mm. Ve vnitřní části objektu jsou uvažovány sloupy o rozměrech 300 x 300 mm. U všech sloupů bylo teoreticky uvažováno vetknutí na obou koncích sloupů tzn. $l_0=0,5$. Při vnesení praktického zohlednění skutečnosti, že nelze vytvořit dokonalé vetknutí, které by přenášelo 100% ohybových momentů, dojde k vytvoření kloubu s určitou tuhostí. Proto vycházíme ze vztahu dle ČSN EN 1992-1-1, str. 63, obr f) $l/2 < l_0 < l$ a volíme $l_0=0,75$ na stranu bezpečnou. Po započtení zvětšené hodnoty l_0 jsou návrhové délky sloupů větší přibližně o 33% a není tedy splněna podmínka $\lambda \leq \lambda_{lim}$. Je tedy nutné započítat moment druhého řádu včetně tvarové imperfekce.

Moment druhého řádu je u předních (delších) sloupů o průřezu 400 x 400 mm počítán podle jmenovité křivosti nebo také nazývanou „metoda náhradního prutu“, jejíž některé vstupní hodnoty byly popsány v kap. 2.1.2. Základem je přímý svislý nehmotný prut vetknutý v patě a na druhém konci volný, kde je zatížen svislou silou F_v a F_H a ohybovým momentem M_0 . Metoda vychází z částečného předpokladu přetvoření vrcholu, který je lineární funkcí křivosti ve vetknutí. Křivost je daná úhlem, který svírá rovina přetvoření s rovinou nepřetvořeného průřezu a stanovuje se ze základního vztahu $M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$.

U vnitřních sloupů konstrukce o průřezu 300 x 300 mm je moment druhého řádu počítán podle jmenovité tuhosti, kde je uvažováno s efektivním modulem pružnosti $E_{cd,ef}$. U stanovení hodnot EI je použito opravného součinitele zohledňující účinky trhlin K_c zjednodušeným způsobem dle podmínky stupně vyztužení $\rho \geq 0,01$, $K_c=(0,3/(1+\varphi_{ef}))$. K tomu je shodně posouzen i opravný součinitel zohledňující příspěvek výztuže $K_s=0$. Součinitel spolehlivosti je stanoven $\gamma_{cE} = 1,2$ dle ČSN EN 1992-1-1[3].

2.2.3 Desky a skryté průvlaky

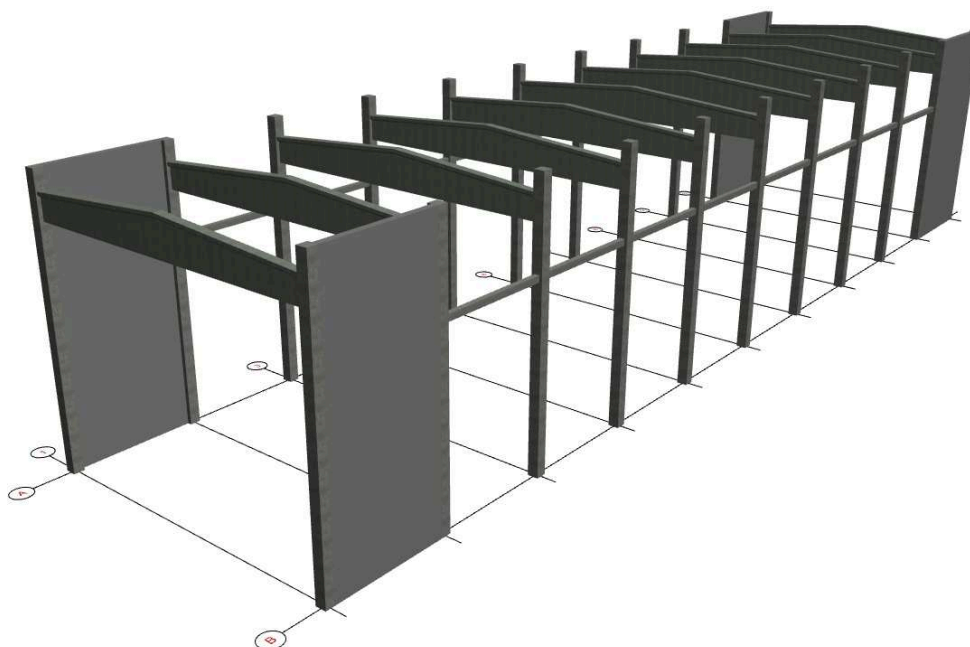
Desky jsou posouzeny metodou mezních stavů, kde rozhodující pro porušení desky je ohybový moment. Deska v rámci konstrukčního řešení se skrytými průvlaky, byla myšlenkově rozdělena na sloupové pruhy a střední pruhy. Sloupové pruhy jsou uvažovány o šířce $1/4$ kratšího rozpětí desky sloupového pole na příslušné straně os, tedy 1,2 m na jedné straně podél osy vyšetřovaného pruhu v 1.NP viz Obr. 2.3. V těchto pruzích se uvažuje konstantní rozdělení ohybových momentů. Návrh a posouzení výztuže je soustředěno na horní výztuž na podporou a dolní výztuž v poli.



Obr. 2.3 Zjednodušené rozdělení pruhů desky

Desku namáhanou posouvající silou bez ztužujících trámů je nutné posoudit na lokální protlačení desky. Pro příklad je posouzen rohový sloup, jehož kontrolní obvod je kratší a dochází tak k větší koncentraci zatížení na menší ploše viz Obr. 3.16 a Obr.3.17.

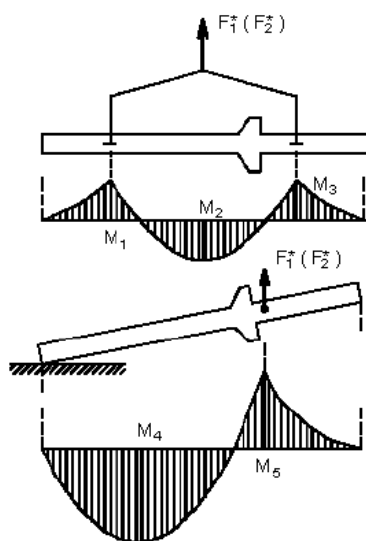
2.3 Výrobní hala



Obr. 2.4 Základní konstrukce výrobní haly se ztužujícími stěnami

Výrobní hala s prefabrikovaných konstrukčních prvků sloupu, střešního sedlového vazníku a podélného ztužujícího trámu je navržena v pravoúhlé modulové řadě. Plné vazby jsou osově vzdáleny 6 m, vzdálenost ve směru vazníků je osově 15 m. Celkové půdorysné rozměry konstrukce jsou 15,5 x 60,5 m. Konstrukční systém je zvolen s kloubovými styky vodorovných prvků a vetknutými sloupy. Vodorovnou tuhost systému zabezpečují ztužující stěny, ztužidla v podobě nosíků mezi sloupy viz kap.4.5, která přenáší vodorovné síly do vetknutých sloupů a částečně i střešní konstrukce tvořená prefa střešními deskami viz. kap.0., jelikož jsou pouze volně ložené na vazníku a styčné spáry se vylijí zálivkou.

U prefabrikovaných prvků je potřeba zvážit i přepravní zatížení (tj. dynamické účinky, deformace podpor, apod.) a manipulační zatížení, kdy je prvek zatížen vlastní vahou a vytváří se tak průběh vnitřních sil, odlišný od návrhové provozní situace Obr. 2.5. Tyto stavy posuzujeme na mezní stav únosnosti. Při zvedání prvku je potřeba započítat součinitel pro vlastní tíhu $\gamma_{fg} = 1,1$. Při manipulaci je součinitel dílce $\gamma_{man} = 1,3$. Jelikož ČSN EN 1992-1-1[3] tyto informace poskytuje v obecné rovině je doporučeno vycházet z ČSN 731201, kde jsou informace podrobnější.



Obr. 2.5 Průběh momentů při zvedání dle[5]

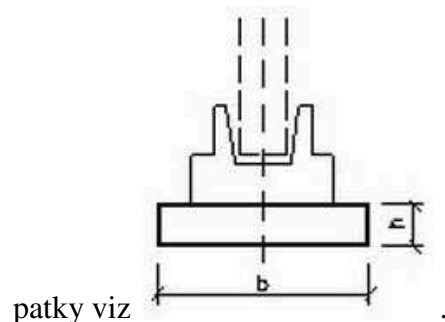
2.3.1 Střešní sedlový vazník

Sedlový vazník je zvolen ve tvaru T o proměnné výšce 1300-1750 mm. Jednotlivé průřezu jsou uvedeny na Obr. 4.3. Z hlediska únosnosti a ekonomické bilance vychází sedlový vazník optimálně. Vazník je řešen, jak bylo uvedeno v textu výše, jako prostý nosník v rámci celé rámové konstrukce. Uložení vazníku na sloupech je pomocí trnů, které

jsou předem připraveny při výrobě sloupů. Po usazení vazníku na sloup, je přibližně 20 mm vůle mezi částečně zapuštěným vazníkem a sloupem, která se zalije cementovou zálivkou.

2.3.2 Sloupy

Sloupy jsou navrženy obdélníkového průřezu o rozměrech 500 x 500 mm a jsou vytaženy nad uložený střešní vazník 1,3 m k vytvoření atiky a montáži střešních panelů. Tuhého spojení sloupu a patky je docíleno zapuštěním sloupu do prefabrikovaného kalichu



Součástí sloupu je konzola Obr. 4.8, která přenáší zatížení z jeřábové dráhy do sloupu. Konzola je posouzena pomocí metody příhradové analogie, jejíž model je uveden na Obr. 4.9. Z ideální geometrie a chování konstrukce vychází celková analýza i analýza jednotlivých poruchových oblastí. Metoda příhradové analogie se používá pro konstrukce, u nichž neplatí deformace podle jejich geometrie. Pokud známe tok napětí od vnějších sil, můžeme nahradit tyto směry tlačeními (vzpěry) a taženími (táhla) prvky příhradového modelu. Táhla představují výztužné pruty, proto je v nich omezeno napětí, které nesmí překročit mez kluzu výztuže. Z obecného pohledu je konstrukce rozdělena do poruchových oblastí „B“, tedy oblast s možným užitím standardních postupů a oblastí „D“, kde jsou vnitřní síly nespojité. Konzola patří dle [3] do poruchové oblasti D. Pokud bychom posoudili oblast D podle standardních postupů, pravděpodobně by to mělo za následek závalu a poruchu dané oblasti. Jakmile je vytvořen základní model příhradové konstrukce, je možné již aplikovat obvyklé metody výpočtu prutových konstrukcí. Z toho vyplývá, že platí pravidla o rovnováze vnějších sil a uzlech (styčnicích), které vznikají při vytváření modelu. Tyto styčníky se dělí podle vstupujících a vystupujících napětí, tzn. styk táhel a vzpěr. Styčník s označením CCC koncentruje tři tlakové betonové vzpěry. Ve styčníku CCT působí dvě vzpěry a jedno táhlo. Ve styčníku CTT působí jedna vzpěra a dvě táhla. V tomto případě při řešení dlouhé konzoly jsou užity uzly CCC a CCT. Nejvhodnější návrh příhradového modelu vychází z pružné analýzy dané oblasti pomocí modelů metody konečných prvků, je proto důležité vhodně začlenit výztuž do modelu. Pokud vytváříme model již známého detailu konstrukce, u níž byl již tento model vytvořen a analyzován, je vhodnější zvolit existující model pro tuto

konstrukci, který ověřen a odpovídá chování dané oblasti. V různých literaturách vyšly příklady modelů příhradové analogie pro nejpoužívanější oblasti a postupu jejich řešení. Při návrhu a posouzení konzoly haly byl převzat příhradový model dle [6].

2.3.3 Patky

U patek je užita kombinace monolitických stupňů patky a prefabrikovaného kalichu. Kalich je navržen a posouzen tak, aby odpovídal maximálním hodnotám zatížení, které je schopen daný sloup, pro který je kalich určen, přenést. Tyto kalichy jsou obvykle vyráběny na sklad, aby je bylo možné kdykoliv užít, pokud zatížení nepřekročí povolené hodnoty. Tento postup výroby na sklad se osvědčil z hlediska úspory času a výrobních nákladů. Návrh a posouzení kalichu není zahrnuto v diplomové práci. Monolitický stupeň o půdorysných rozměrech 1,2 x 1,8 m byl posouzen dle ČSN EN 1997[7]. Byl užit stejný půdní profil jako u patek monolitu v první části.

2.3.4 Ztužující stěna

Ztužující stěna plní funkci ztužení v podélném směru haly od zatížení jeřábu a zatížení povětrnostními vlivy. Z hlediska jejího provedení a určení je stěna posouzena na smyk pomocí zjednodušující metody dle ČSN EN 1997[7], která umožňuje podle základních vstupních hodnot posouzení stěny na smykové namáhání. Stěna je navržena z tvárnic POROTHERM 30 CB tl. 300 mm s charakteristickou pevností $f_u = 10 \text{ MPa}$ uvedenou v [8].

3 Návrh monolitické konstrukce

Následující návrh konstrukce zahrnuje určení jednotlivých zatížení a jejich kombinací a vyhodnocení. Po výstupu vnitřních sil z programu SCIA[9], jenž byl užit pro návrh konstrukce, byly specifikovány nejhorší kombinace vnitřních sil a jejich hodnoty pro jednotlivé konstrukční prvky.

3.1 Zatížení konstrukce

Určení zatížení se řídí dle ČSN EN 1991[10] jejich kombinace dle ČSN EN 1990. Byly použity standardní návrhové situace dle [1], odst. 6.4.3.2 (3), Rovnice 6.10 a) a 6.10 b)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Hodnoty dílčích součinitelů pro stálá zatížení jsou dosazeny dle [1], Příloha A1, Tab.A1.2 (B) a pro nahodilá zatížení dle Tab.A1.2 (C). Třída spolehlivosti RC2 podle Přílohy B čl. B.3 v [1].

3.1.1 Zatížení stálé

Hodnoty stálých zatížení jsou určeny podle objemových hmotností uvedených v [10], nebo dle výrobců jednotlivých materiálů.

Plochá střecha

- vegetace tl. 80 mm
- drenážní vrstva (štěrk) tl. 80 mm
- separační folie tl. 1 mm
- tepelná izolace tl. 280 mm
- hydroizolaci tl. 1 mm

$$q=2,849 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Podlaha 1.NP-3.NP

- anhydrit tl.50 mm

- separační folie tl.1 mm
- kročejová izolace tl.50 mm

$$q=2,62 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

3.1.2 Zatížení užité

Zatížení užité se řídí dle ČSN EN 1991[10].

Střecha

Užité zatížení bylo zvoleno na základě způsobu užití ploché střechy jež je v tomto případě pochozí s trvalým přístupem. zvoleno dle ČSN EN 1991 Střecha- I Tab. 6.9 [10].

$$q=1,5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Podlahy

zvoleno dle ČSN EN 1991-1-1[10], Tab. 6.2, kategorie B

$$q=3,0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

K této hodnotě byly přičteny dle ČSN EN 1991-1-1 zatížení od přemístitelných příček dle jejich objemové hmotnosti $q=1,2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

3.1.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem je uvažováno dle ČSN EN 1991-1-4, větrná oblast II. $v_{b,0}=25 \text{ [m/s]}$. Místo stavby se nachází na hranici větrných oblastí (Uničov), proto byla zvolena vyšší hodnota základní rychlosti větru. U budovy předpokládáme, že nebude působit vnitřní tlak (sání), proto nebude zahrnut do výpočtu.

Charakteristika budovy výška $h=11,75 \text{ m}$; šířka $b=15,3 \text{ m}$;

$v_{b,0}=25 \text{ m/s}$ – II. větrná oblast; $c_{season}=1,0$; $c_{dir}=1,0$

Základní rychlost větru

$$v_{b,0} = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 25 \frac{m}{s}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu $z_{min}=5\text{ m}$

$$c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,II}}\right) = 0,79$$

Střední rychlost větru $c_0=1$

$$v_m = c_r \cdot c_0 \cdot v_b = 0,8 \cdot 1 \cdot 25 = 19,75\text{ m/s}$$

Intenzita turbulence $k_I=1$; $\rho=1,25\text{ kg/m}^3$

$$I_v = \frac{k_I}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,II}}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{11,75}{0,3}\right)} = 0,273$$

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_m)^2 = \mathbf{0,709\text{ kN/m}^2}$$

Zatížení větrem na svislé stěny

Výška budovy není větší, než šířka tzn. $h < b$, je zatížení větrem na stěny konstantní po celé výšce budovy.

$$e = \min(d, 2h) = 20,3\text{m} ; \frac{h}{d} = 0,579$$

Součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10 A} = -1,2$$

$$c_{pe,10 B} = -0,8$$

$$c_{pe,10 C} = -0,5$$

$$c_{pe,10 D} = 0,77$$

$$c_{pe,10 E} = -0,44$$

Výsledné tlaky v zónách

$$w_k^A = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-1,2 - 0,2) = \mathbf{-0,993\text{ kN/m}^2}$$

$$w_k^B = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,8 - 0,2) = \mathbf{-0,709\text{ kN/m}^2}$$

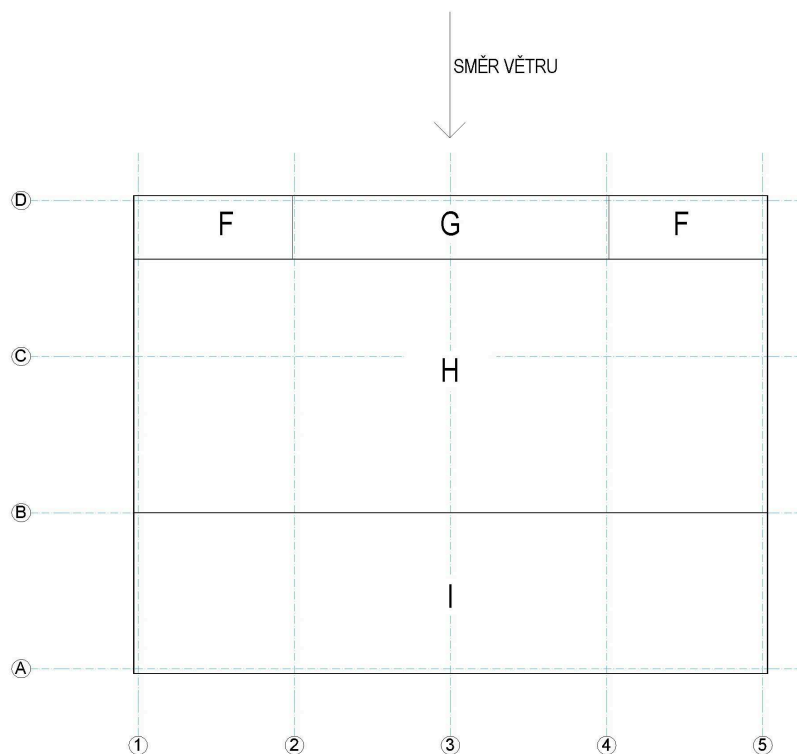
$$w_k^C = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,5 - 0,2) = \mathbf{-0,496\text{ kN/m}^2}$$

$$w_k^D = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (0,77 - 0,2) = \mathbf{0,404\text{ kN/m}^2}$$

$$w_k^E = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,44 - 0,2) = \mathbf{-0,454\text{ kN/m}^2}$$

Zatížení větrem na plochou střechu-příčný směr

U zatížení větrem na plochou střechu je zohledněna výška atiky h_p dle tab.1-3 [1]



Obr. 3.1 Příčný směr větru

Velikost zón

$$F=e/10 = 2,03 \text{ m}$$

$$F = e/4 = 5,075 \text{ m}$$

$$G=e/10 = 2,03 \text{ m}$$

$$G=d-2(e/4) = 10,15 \text{ m}$$

$$H=e/2-e/10=8,12 \text{ m}$$

$$I=b-e/2 = 5,15 \text{ m}$$

Součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10 F} = -1,348$$

$$c_{pe,10 G} = -0,864$$

$$c_{pe,10 H} = -0,7$$

$$c_{pe,10 I^+} = -0,2$$

$$c_{pe,10 I^-} = 0,2$$

Výsledné tlaky v zónách

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-1,348 - 0,2) = -1,098 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,864 - 0,2) = -0,754 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,638 \text{ kN/m}^2$$

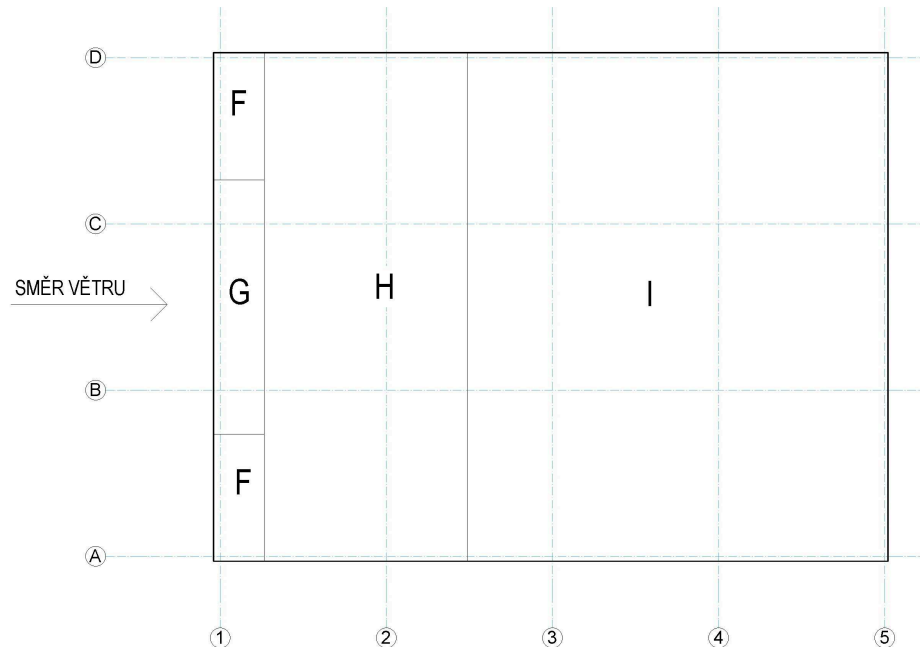
$$w_k^I = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,2 - 0,2) = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (0,2 - 0,2) = -0,284 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty výsledných tlaků byly zadány jako plošné zatížení do 3D modelu v software SCIA[9].

Zatížení větrem na plochou střechu-podélný směr

U zatížení větrem na plochou střechu je zohledněna výška atiky h_p dle tab.1-3 [1]



Obr. 3.2 Podélný směr větru

Velikost zón

$$F = e/10 = 1,53 \text{ m}$$

$$F = e/4 = 3,825 \text{ m}$$

$$G = e/10 = 1,53 \text{ m}$$

$$G = d - 2(e/4) = 7,65 \text{ m}$$

$$H = e/2 - e/10 = 6,12 \text{ m}$$

$$I = d - e/2 = 12,65 \text{ m}$$

Součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10 F} = -1,248$$

$$c_{pe,10 G} = -0,824$$

$$c_{pe,10 H} = -0,7$$

$$c_{pe,10 I^+} = -0,2$$

$$c_{pe,10 I^-} = 0,2$$

Výsledné tlaky v zónách

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-1,248 - 0,2) = -1,027 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,824 - 0,2) = -0,726 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,638 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (-0,2 - 0,2) = 0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I^-} = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,709 \cdot (0,2 - 0,2) = -0,284 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty výsledných tlaků byly zadány jako plošné zatížení do 3D modelu v software SCIA[9].

3.1.4 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je uvažováno dle oblasti II. – $s_k=0,90 \text{ kN/m}^2$, přesněji tato hodnota byla stanovena pomocí sněhové mapy[11], dle místa stavby.

Vstupní hodnoty

$$\mu_i = 0,8$$

$$C_e = 1$$

$$C_t = 1$$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

3.2 Sloupy

Materiál všech sloupů je uvažován následující

Beton C 30/37

$$\alpha_{cc} = 1 \quad f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad \mu = 1 \quad \gamma_c = 1.5$$

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \text{ MPa}$$

Betonářská ocel 10 505(B500B)

$$\gamma_s = 1,15 \quad f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad E_s = 200 \text{ GPa} \quad E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa} \quad \epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot 1000 = \frac{435}{200\,000} \cdot 1000 = 2,174$$

Podmínka pro tahovou výztuž

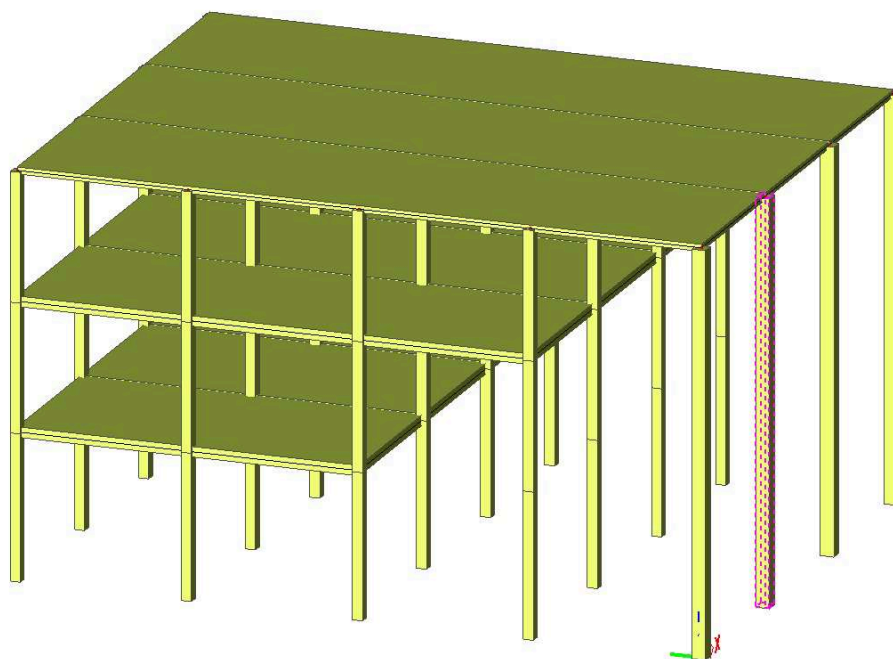
$$\xi_{bal1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

Podmínka pro tlakovou výztuž

$$\xi_{bal2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} - \epsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,639$$

3.2.1 Přední sloup

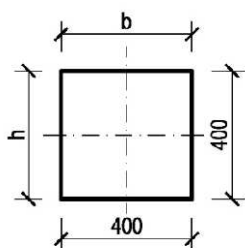
Posouzení nejdelšího sloupu konstrukce bude spočívat v posouzení ve dvou směrech působícího zatížení z, y paty a hlavy sloupu. Byly vybrány nejhorší uvažované kombinace zatížení dle výpočtu v programu SCIA [9]. Všechny kombinace lze ověřit v příloze, jako výstup ze software.



Obr. 3.3 Znáznornění předního sloupu

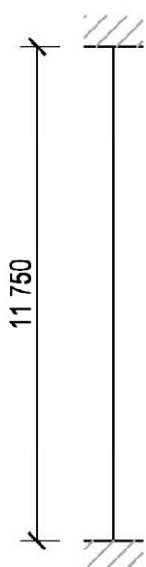
Posouzení paty sloupy ve směru M_z

Tab. 3.1 Výstupní hodnoty pro patu sloupu z SCIA



Kombinace č.	$N_{Ed}(kN)$	$M_{Edy}(kNm)$	$M_{Edz}(kNm)$	$V_{Edy}(kN)$	$V_{Edz}(kN)$
CO100/3	-181,58	40,08	97,68	39,48	6,68
CO22/1	-231,57	1,04	12,73	3,24	0,27

Délka sloup $l=11,75$ m



Pro výpočet byla uvažována kombinace **CO100/3**.

Krycí vrstva výztuže

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min.b} \geq \emptyset \text{ výztuže}$$

$c_{min,dur}$ –určíme na základě tabulky vlivu prostředí, kde dle způsobu užití budovy jejího prostředí jako kancelářské prostory je stupeň XC1, navíc je splněna návrhová podmínka na 80 let zvýšení betonu o jeden stupeň, což je splněno.

$\Delta c_{dur,y}; \Delta c_{dur,st}; \Delta c_{dur.add}$ –při standardních podmínkách bez užití nerezové oceli a bez dodatečné ochrany povrchu uvažujeme rovné nule dle ČSN EN 1992-1-1 [3]

Krycí vrstva výztuže

$$\underline{\text{Třmínků}} \emptyset_s = 8 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{Podélná výztuž}} \emptyset = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (25; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Jelikož požadované krytí třmínků je $c_{min} = 20 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude

$$c_{nom} = 20 + 8 = 28 \leq 35, \text{ zvolíme } c_{nom} = 35 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 35 + 20 \cdot 0,5 = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d = 0,4 - 0,04 = 0,36 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,4 - 0,043 = 0,158 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,4 - 0,043 = 0,158 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,315 \text{ m}$$

Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,75 \cdot l = 8,8125 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0021}{0,16}} = 0,115 \text{ m} \quad \lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{8,8125}{0,115} = 76,32$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{181,58}{0,16 \cdot 20} = 0,057$$

Limitní štíhlost

$$A = 1 ; B = 1,1 ; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,057}} = 45,254$$

$$\lambda = 76,32 > \lambda_{lim} = 45,254 \rightarrow \text{je nutné počítat s účinky druhého řádu}$$

Moment druhého řádu podle jmenovité křivosti

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{0,16}{0,016} = 200$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{35}\right)^{0,7} = 0,94 \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{35}\right)^{0,2} = 0,98$$

$$RH = 50$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \right) \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{200}} \right) \cdot 0,94 \right) \cdot 0,98$$

$$\varphi_{RH} = 1,78$$

$$\beta_{fcm} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,73$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,49$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,78 \cdot 2,73 \cdot 0,49 = 2,37$$

$$\begin{aligned} \beta_H &= 1,5(1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_0 + 250 = 1,5(0,012 + 50)^{18}) \\ &= 550,03 \end{aligned}$$

$$\beta_{t,t_0} = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0,3} = \left(\frac{29200 - 28}{550,03 + 29200 - 28} \right)^{0,3} = 0,994$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_{t,t_0} = 2,37 \cdot 0,994 = 2,35$$

Účinek dotvarování

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{76,32}{150} = -0,0088$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{Ef} = 1 + (-0,0088 \cdot 2,35) = 0,98$$

Opravný součinitel

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{181,58}{0,09 \cdot 20} = 0,057$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{0,016 \cdot 435}{0,09 \cdot 20} = 0,34$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,34$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,34 - 0,057}{1,34 - 0,4} = 1,36,$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,018$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,98 \cdot 1,36 \cdot 0,018 = 0,0179$$

Průhyb druhého řádu

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0179 \cdot \frac{8,8125^2}{8} = 0,167$$

Moment druhé řádu

$$M_2 = N_{Ed} e_2 = 181,58 \cdot 0,174 = 30,41 \text{ kNm}$$

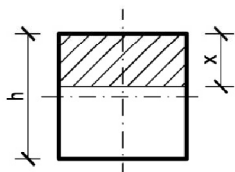
$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_0 = 97,68 + (-181,58 \cdot 0,02) = 94,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 94,05 + 31,63 = 124,45 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 125,67 - (-181,68 \cdot 0,160) = 153,05 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,366 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$N_{Ed} = 181,58 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 1411,37 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$



$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,360}{0,8} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 153,05 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,36^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,073 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,36 = 0,222 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,06 < x_{bal,1} = 0,222 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

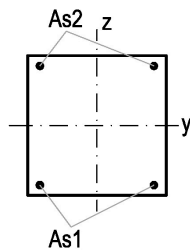
Požadovaná plocha výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,073 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 466,1 \text{ kN}$$

$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = F_c \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,73) = 79,64 \text{ kN}$$

$$\Delta N = N_{Ed} - F_c = -284,52 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = 44,81 \text{ kN}$$



$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-284,52}{2} + \frac{44,81}{0,32} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 654,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-284,52}{2} + \frac{44,81}{0,32} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 0 \text{ mm}^2$$

Navrhujeme výztuž pro tento směr působení momentu za předpokladu symetrického vyztužení $\rightarrow A_{s1}=760 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R22$

$$A_{s2}=760 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R22$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si.min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |181,58|}{435 \cdot 10^3} = 20,882 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si.min} \geq 0,001 \cdot A_c = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 760 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si.min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1520 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,354 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 - 760) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 1048,17 \text{ kN} > N_{Ed} = 181,58 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 + 760) \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd0} = -3008 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd1} = -2029,63 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,354 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,354) + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 151,28 \text{ kNm}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

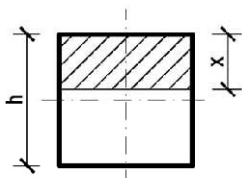
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,354 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 - 760) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -1048,17 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,354 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,354) + (760 \cdot 10^{-6} \cdot 0,158 + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 0,158) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 295,51 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{N_{Ed} - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{181,58 - 760 \cdot 435 \cdot 10^3 + 760 \cdot 435 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,028 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_2 \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,028 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,028) + 942 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,16 + 942 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,16$$

$$M_{Rd} = 133,49 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 133,49 \text{ kNm} > M_{Ed} = 97,68 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUE}$$

4. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 330,43 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 52,04 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 660,87 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$

Posouzení paty sloupu ve směru M_y

Vstupní hodnoty – dle Tab. 3.1

- normálová síla $N_{Ed} = 181,58 \text{ kN}$
- ohybový moment $M_{Edz} = 40,08 \text{ kN}$
- účinná délka sloupu $l_0 = 11,75 \text{ m}$

Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,5 \cdot l = 8,8125 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0021}{0,16}} = 0,115 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{8,8125}{0,115} = 76,32$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{181,58}{0,16 \cdot 20} = 0,057$$

Limitní štíhlost

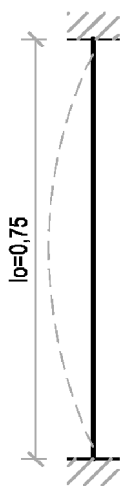
$$A = 1 ; B = 1,1 ; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,057}} = 45,254$$

$$\lambda = 76,32 > \lambda_{lim} = 45,254 \rightarrow \text{je nutné počítat s účinky druhého řádu}$$

Moment druhého řádu podle jmenovité křivosti

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{0,16}{0,016} = 200$$



$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,7} = 0,94 \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,2} = 0,98$$

$$RH = 50$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}\right) \cdot \alpha_1\right) \cdot \alpha_2 = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{200}}\right) \cdot 0,94\right) \cdot 0,98$$

$$\varphi_{RH} = 1,78$$

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,73$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,49$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,78 \cdot 2,73 \cdot 0,49 = 2,37$$

$$\beta_H = 1,5(1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_0 + 250 = 1,5(0,012 + 50)^{18}) \\ = 550,03$$

$$\beta_{t,t_0} = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{29200 - 28}{550,03 + 29200 - 28}\right)^{0,3} = 0,994$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_{t,t_0} = 2,37 \cdot 0,994 = 2,35$$

Účinek dotvarování

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{76,32}{150} = -0,0088$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{Ef} = 1 + (-0,0088 \cdot 2,35) = 0,98$$

Opravný součinitel

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{181,58}{0,09 \cdot 20} = 0,057$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{0,016 \cdot 435}{0,09 \cdot 20} = 0,41$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,41$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,34 - 0,57}{1,34 - 0,4} = 1,34$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,014$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,98 \cdot 1,36 \cdot 0,014 = 0,0179$$

Průhyb druhé řádu

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0179 \cdot \frac{8,8125^2}{8} = 0,174 \text{ m}$$

Moment druhé řádu

$$M_2 = N_{Ed} e_2 = 181,58 \cdot 0,174 = 31,55 \text{ kNm}$$

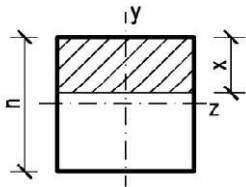
$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_0 = 40,80 + (-181,58 \cdot 0,02) = 36,45 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 36,45 + 31,55 = 68 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 68 - (-181,68 \cdot 0,154) = 95,57 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,354 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$N_{Ed} = 181,58 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 1397,55 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$



$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

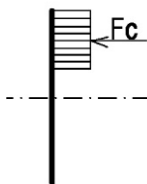
$$x = \frac{0,354}{0,8} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 95,57 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,354^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,0446 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,354 = 0,218 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,0446 < x_{bal,1} = 0,222 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$



Návrh výztuže

Požadovaná plocha výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,0446 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 285,48 \text{ kN}$$

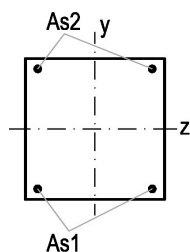
$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = 285,48 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,0446) = 52 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = N_{Ed} - F_c = -181,58 - 285,48 = -103,9 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = 40,08 - 52 = 16 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \left| \frac{\Delta N}{2} - \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-103,9}{2} - \frac{16}{0,308} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 238,97 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-103,9}{2} + \frac{16}{0,308} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 0 \text{ mm}^2$$



Z důvodu symetrického vyztužení průřezu necháme stejnou výztuž i pro tento směr působení momentu M_{Edy} .

$$\rightarrow A_{s1} = 760 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R22$$

$$A_{s2} = 760 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R22$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si,min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |181,58|}{435 \cdot 10^3} = 20,882 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si,min} \geq 0,001 \cdot A_c = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 760 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si,min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1520 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,354 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 - 760) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 1048,17 \text{ kN} > N_{Ed} = 181,58 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 + 760) \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd0} = -3008 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd1} = -2029,63 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,354 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,354) + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 151,28 \text{ kNm}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

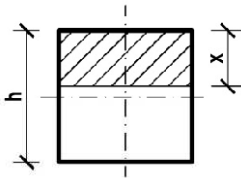
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,354 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (760 - 760) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -1048,17 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,354 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,354) + (760 \cdot 10^{-6} \cdot 0,158 + 760 \cdot 10^{-6} \cdot 0,158) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 295,51 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{N_{Ed} - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{181,58 - 760 \cdot 435 \cdot 10^3 + 760 \cdot 435 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,028 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_2 \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 =$$

$$0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,028 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,16) + 942 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot$$

$$0,16 + 942 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,16$$

$$M_{Rd} = 133,49 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 133,49 \text{ kNm} > M_{Ed} = 97,68 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

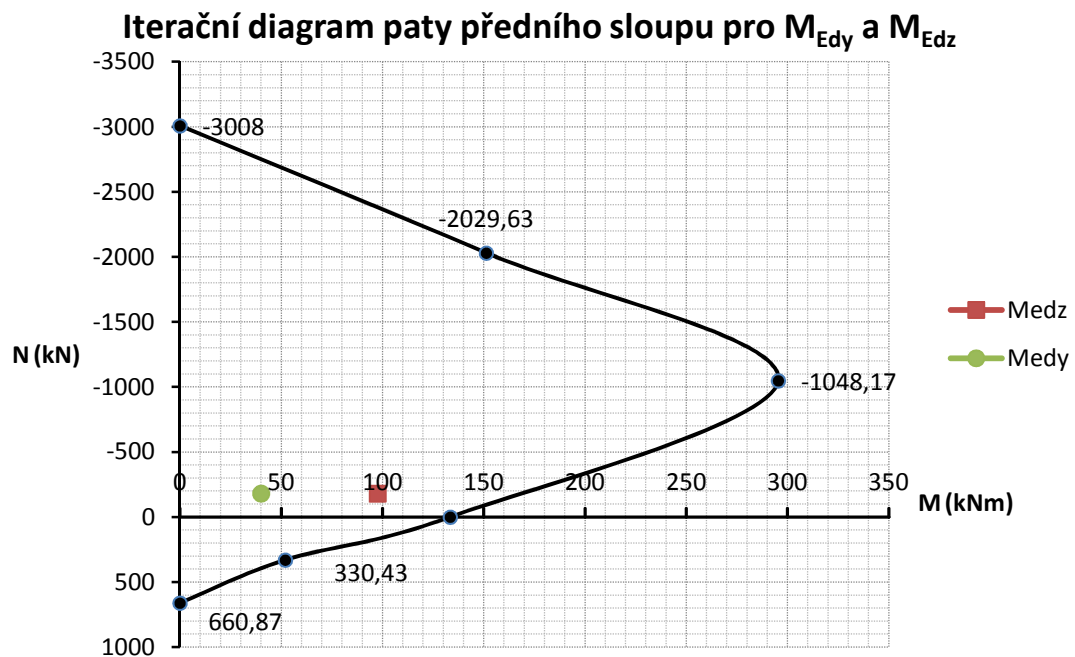
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 330,43 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 52,04 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 660,87 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 3.4 Iterační diagram

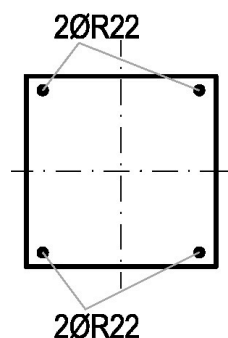
Posouzení průřezu pro podmínku spolehlivosti kombinací momentů M_y , M_z

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1,0 \quad \text{kde } a = 1,0$$

$$\left(\frac{40,08}{160,07}\right)^{1,0} + \left(\frac{97,58}{160,07}\right)^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,25 + 0,61 \leq 1,0$$

$0,86 \leq 1,0 \rightarrow$ **VYHOUJE, PODMÍNKA JE SPLNĚNA**



Obr. 3.5 Vyztužený průřez předního sloupu

Posouzení hlavy sloupu pro M_{Edy}

Tab. 3.2 Výstupní hodnoty pro hlavu sloupu z SCIA

Kombinace	$N_{Ed}(\text{kN})$	$M_{Edy}(\text{kNm})$	$M_{Edz}(\text{kNm})$	$V_{Edy}(\text{kN})$	$V_{Edz}(\text{kN})$
CO100/3	-128,65	38,38	15,61	25,51	6,68
CO117/5	-146,07	3,43	33,03	16,70	0,44
CO 97/4	-110,95	38,17	15,26	25,85	6,65

Délka sloupu $l = 11,75 \text{ m}$

Pro výpočet byla uvažována kombinace CO100/3

Krycí vrstva výztuže

Třmínků $\phi_s = 8 \text{ mm}$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Podélná výztuž \varnothing = 16 mm

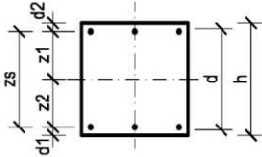
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (16; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 16 + 10 = 26 \text{ mm}$$



Jelikož požadované krytí třmíneků je $c_{min} = 20 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude

$$c_{nom} = 20 + 8 = 28 \geq 26, \text{ zvolíme } c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

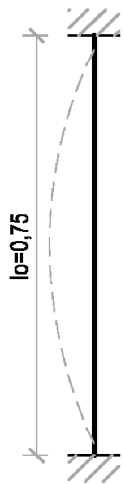
$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 30 + 16 \cdot 0,5 = 38 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,038 = 0,362 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,4 - 0,038 = 0,162 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,4 - 0,038 = 0,162 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,324 \text{ m}$$



Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,75 \cdot l = 8,8125 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0021}{0,16}} = 0,115 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{8,8125}{0,115} = 76,32$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{128,65}{0,16 \cdot 20} = 0,04$$

Limitní štíhlost

$$A=1 ; B=1,1 ; C=0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,04}} = 53,76$$

$\lambda = 76,32 > \lambda_{lim} = 53,76 \rightarrow$ je nutné počítat s účinky druhého řádu

Moment druhého řádu podle jmenovité křivosti

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{0,16}{0,016} = 200$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,7} = 0,94 \quad ; \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,2} = 0,98 \quad ;$$

$$RH = 50$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}\right) \cdot \alpha_1\right) \cdot \alpha_2 = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{200}}\right) \cdot 0,94\right) \cdot 0,98$$

$$\varphi_{RH} = 1,78$$

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,73$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,49$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,78 \cdot 2,73 \cdot 0,49 = 2,37$$

$$\beta_H = 1,5(1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_0 + 250 = 1,5(0,012 + 50)^{18})$$

$$\beta_H = 550,03$$

$$\beta_{t,t_0} = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{29200 - 28}{550,03 + 29200 - 28}\right)^{0,3} = 0,994$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_{t,t_0} = 2,37 \cdot 0,994 = 2,35$$

Účinek dotvarování

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{76,32}{150} = -0,0088$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{Ef} = 1 + (-0,0088 \cdot 2,35) = 0,98$$

Opravný součinitel

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{128,65}{0,09 \cdot 20} = 0,04$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{0,016 \cdot 435}{0,09 \cdot 20} = 0,22$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,22 = 1,22$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,22 - 0,04}{1,22 - 0,4} = 1,44$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,013$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,98 \cdot 1,36 \cdot 0,013 = 0,0188$$

Průhyb druhého řádu

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0188 \cdot \frac{8,8125^2}{8} = 0,183 \text{ m}$$

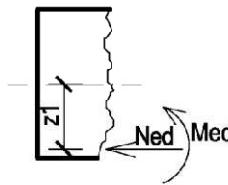
Moment druhé řádu

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 128,65 \cdot 0,176 = 23,51 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_0 = 38,38 + (-128,65 \cdot 0,02) = 35,81 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 35,81 + 23,51 = 59,31 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 59,31 - 128,65 \cdot 0,162 = 80,16 \text{ kNm}$$



$$|N_{Ed}| \leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$N_{Ed} = 128,65 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 1429,14 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$

Výpočet tlačené oblasti betonu

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,362}{0,8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 80,16 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,362^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,036 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,354 = 0,223 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,036 < x_{bal,1} = 0,223 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

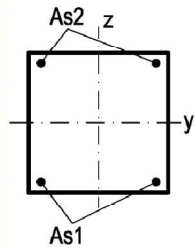
Požadovaná plocha výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,036 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 230,61 \text{ kN}$$

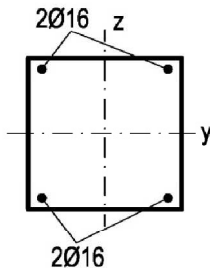
$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = F_c \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,036) = 42,8 \text{ kN}$$

$$\Delta N = -N_{Ed} - F_c = 128,65 - 230,61 = -101,96 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = 38,38 - 42,76 = 16,52 \text{ kN}$$



$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} - \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-101,96}{2} - \frac{16,52}{0,308} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 234,5 \text{ mm}^2$$



$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-101,96}{2} + \frac{16,52}{0,308} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 0 \text{ mm}^2$$

Navrhne výztuž pro tento směr působení momentu za předpokladu symetrického vyztužení $\rightarrow A_{s1}=402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ ØR16}$

$$A_{s2}=402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ ØR16}$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si.min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |125,68|}{435 \cdot 10^3} = 14,795 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si.min} \geq 0,001 \cdot A_c = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 402 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si.min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,362 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 1071,85 \text{ kN} > N_{Ed} = 125,68 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 + 402) \cdot 400 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -2721,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd1} = -1912,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,362) + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 124,23 \text{ kN}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

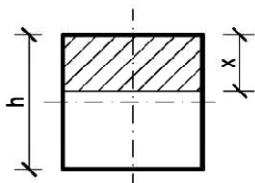
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -1071,85 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,362) + (402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,162 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,162) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 248,95 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{(|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd})}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{(125,65 - 402 \cdot 435 \cdot 10^3 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3)}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$x = 0,027 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \\ &= 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,02) + 402 \\ &\quad \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,162 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,162 \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 78,72 \text{ kN}$$

$$M_{RD} = 78,72 \text{ kNm} > M_{Ed} = 38,38 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 174,80 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 28,315 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

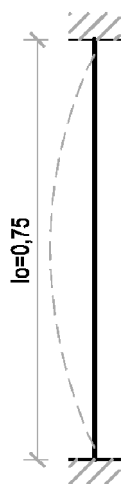
$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 349,57 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$

Posouzení hlavy sloupu ve směru M_{Edz}

Vstupní hodnoty - dle tabulky Tab. 3.2

- normálová síla $N_{Ed} = -128,65 \text{ kN}$
- ohybový moment $M_{Edz} = 15,61 \text{ kN}$
- účinná délka sloupu $l_0 = 11,75 \text{ m}$



Profil výztuže navrhne stejný jako ve směru x tzn., že hodnoty krytí výztuže jsou shodné a převezmeme z předchozího posouzení.

Štíhlost sloup

$$l_o = 0,75 \cdot l = 8,8125 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0021}{0,16}} = 0,115 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{8,8125}{0,115} = 76,32$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|128,65|}{0,16 \cdot 20} = 0,04$$

Limitní štíhlost

$$A = 1 ; B = 1,1; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,04}} = 53,76$$

$$\lambda = 76,32 > \lambda_{lim} = 53,76 \rightarrow \text{je nutné počítat s účinky druhého řádu}$$

Moment druhého řádu podle jmenovité křivosti

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{0,16}{0,016} = 200$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,7} = 0,94 ; \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,2} = 0,98 ;$$

$$RH = 50$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}\right) \cdot \alpha_1\right) \cdot \alpha_2 = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{200}}\right) \cdot 0,94\right) \cdot 0,98$$

$$\varphi_{RH} = 1,78$$

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,73$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,49$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,78 \cdot 2,73 \cdot 0,49 = 2,37$$

$$\beta_H = 1,5(1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_0 + 250 = 1,5(0,012 + 50)^{18})$$

$$\beta_H = 550,03$$

$$\beta_{t,t_0} = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{29200 - 28}{550,03 + 29200 - 28}\right)^{0,3} = 0,994$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_{t,t_0} = 2,37 \cdot 0,994 = 2,35$$

Účinek dotvarování

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{76,32}{150} = -0,0088$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{Ef} = 1 + (-0,0088 \cdot 2,35) = 0,98$$

Opravný součinitel

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{128,65}{0,09 \cdot 20} = 0,04$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{0,016 \cdot 435}{0,09 \cdot 20} = 0,22$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,22$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,22 - 0,04}{1,22 - 0,4} = 1,44$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,013$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,98 \cdot 1,36 \cdot 0,013 = 0,0188$$

Průhyb druhého řádu

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0188 \cdot \frac{8,8125^2}{8} = 0,183 \text{ m}$$

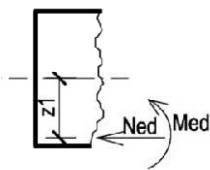
Moment druhé řádu

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 128,65 \cdot 0,176 = 23,51 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_0 = 15,61 + (-128,65 \cdot 0,02) = 13,04 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 13,04 + 23,51 = 36,54 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 36,54 - (-128,65) \cdot 0,162 = 57,39 \text{ kNm}$$



$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$N_{Ed} = 128,65 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 1429,14 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,362}{0,8} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 57,39 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,362^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,0255 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,362 = 0,223 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,032 < x_{bal,1} = 0,223 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

Požadovaná plocha výztuže

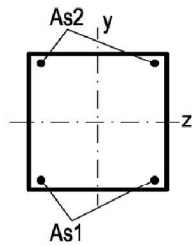
$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,032 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 163,12 \text{ kN}$$

$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = 163,12 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,025) = 30,96 \text{ kNm}$$

$$M_c = 30,96 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = N_{Ed} - F_c = -128,65 - 163,12 = -34,47 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = 15,61 - 30,96 = 5,28 \text{ kNm}$$



$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} - \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-34,47}{2} - \frac{5,28}{0,324} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 79,28 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-34,47}{2} + \frac{5,28}{0,324} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 0 \text{ mm}^2$$

Opět uvažujeme symetrický průřez i v kolmých osách průřezu, proto opět navrhujeme stejnou výztuž

$$\rightarrow A_{s1} = 402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing \text{R16}$$

$$A_{s2} = 402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing \text{R16}$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si.min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |128,61|}{435 \cdot 10^3} = 14,795 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si.min} \geq 0,001 \cdot A_c = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 402 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si.min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 804 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,362 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 1071,85 \text{ kN} > N_{Ed} = 125,68 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 + 402) \cdot 400 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -2721,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd1} = -1912,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,362) + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 124,23 \text{ kN}$$

2. bod iteračního diagramu

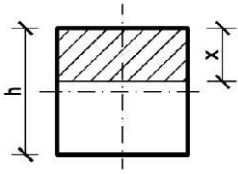
$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -1071,85 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,362 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,362) + (402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,162 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,162) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 248,95 \text{ kNm}$$



3. bod iteračního diagramu

$$x = \frac{(|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd})}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{(125,65 - 402 \cdot 435 \cdot 10^3 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3)}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$x = 0,027 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$= 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,027) + 402 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,162 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,162$$

$$M_{Rd} = 78,72 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 78,72 \text{ kNm} > M_{Ed} = 38,38 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUE}$$

4. bod iteračního diagramu

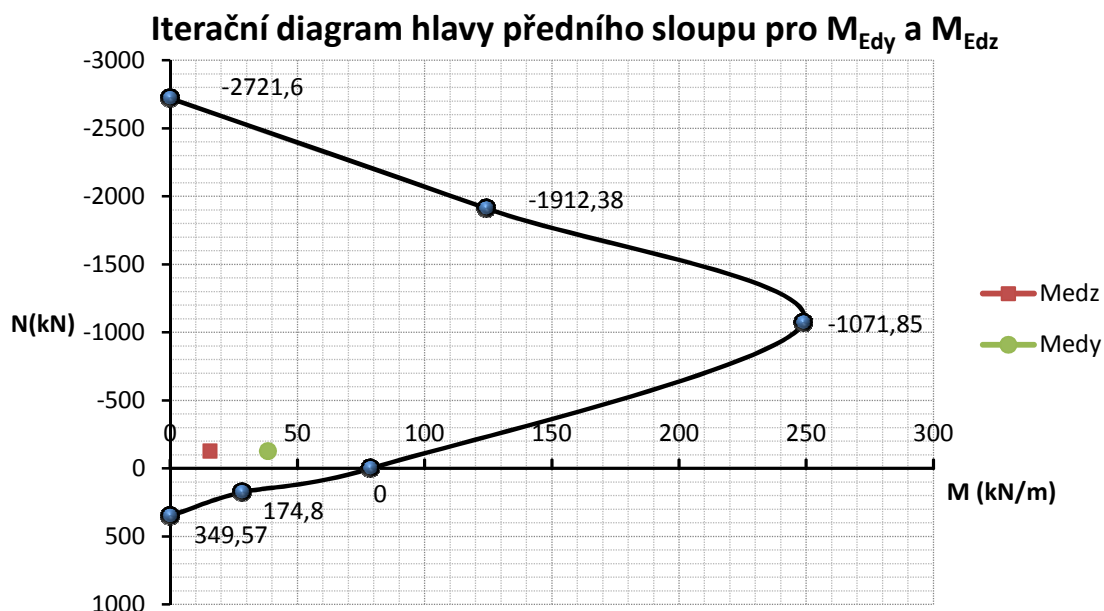
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 174,80 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 28,315 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 349,57 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 3.6 Iterační diagram

Posouzení průřezu pro podmínku spolehlivosti kombinací momentů M_y , M_z

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1,0 \quad \text{kde } a = 1,0$$

$$\left(\frac{38,38}{79,06}\right)^{1,0} + \left(\frac{15,61}{79,06}\right)^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,48 + 0,20 \leq 1,0$$

0,68 ≤ 1,0 → VYHOUJE, PODMÍNKA JE SPLNĚNA

Návrh smykového vyztužení předního sloupu

Tab. 3.3 Výstupní hodnoty SCIA pro přední sloup

Kombinace	V_{Edy} (kN)	V_{Edz} (kN)
CO114/2	19.25	0.41
CO100/3	39,48	6,68
CO 97/4	25,85	6,65

Pro výpočet byla užita $V_{Ed} = 39,48$ kN z kombinace CO 100/3.

Vycházíme z požadavku

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \text{ při návrhu } \cot\theta = 2,5 ; \alpha = 75^\circ$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$\min(V_{Rd,max}) = \frac{v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot \cot\theta}{1 + \cot^2\theta} = \frac{0,528 \cdot 30 \cdot 0,4 \cdot 2,5}{1 + 2,5^2} = 474,55 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max})$$

$38,48 \text{ kN} \leq 474,55 \text{ kN} \rightarrow$ **průřez i třída betonu VYHOVUJE**

potřebný stupeň vyztužení smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{|V_{Ed}|}{f_{yd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{38,48 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,326 \cdot 2,5} = 0,000272$$

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{30})}{500} = 0,000000876$$

Návrh plochy smykové výztuže

$$A_{sw} = 50,3 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{1 \text{ } \varnothing 8}$$

Požadovaná maximální vzdálenost třmínků

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_w} = \frac{50,3 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,00272} = 0,463 \text{ m}$$

Maximální vzdálenost třmínků dle požadavku EN 1992-1-1[3]

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot d(1 + \cot 75^\circ) = 0,344 \text{ m}$$

$s \leq 0,6 \cdot S_s$ – vzdálenost třmínků v poli sloupu

$$s = 0,6 \cdot 0,3 = 0,180 \text{ m}$$

Návrh vzdálenosti třmínků $s=0,180 \text{ m}$ v místech uložení sloup, což vyhovuje obou předchozím podmínkám dle EN 1992-1-1[3].

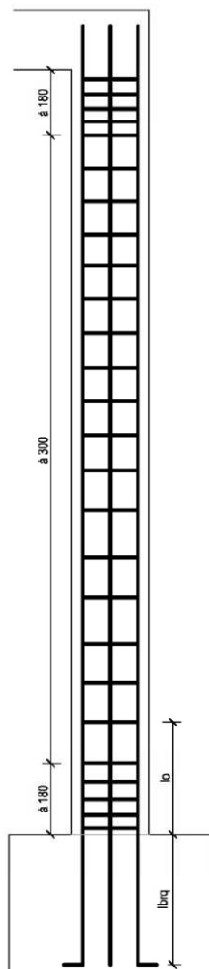
Délka oblasti pro osovou vzdálenost třmínků 0,180m

$$\Delta l = z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) = 0,326 \cdot (2,5 + \cot 75^\circ) = 0,902 \text{ m}$$

Navrhujeme délku oblasti **1m** od hlavy a paty sloupu.

Posouzení návrhu smykové únosnosti v místech uložení $a=0,18 \text{ m}$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)}{s}$$



$$V_{Rd,s} = \frac{50,3 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 0,326 \cdot \sin \alpha \cdot (2,5 + \cot \alpha)}{0,20} = 105,83 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 105,83 \text{ kN} > V_{Ed} = 38,48 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Návrh vzdálenosti třmínků pro zbytek délky sloupá 0,30 m

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)}{s}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{50,3 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 0,326 \cdot \sin \alpha \cdot (2,5 + \cot \alpha)}{0,30} = 63,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 63,5 \text{ kN} > V_{Ed} = 38,48 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní a přesahové délky výztuže

Základní kotevní délka u paty sloupu pro Ø20 mm

Dle literatury[12], kap. 6.7.2, str. 199, bylo uvažováno $l_b = l_{brqd}$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,725 \text{ m}$$

→ **návrh 0,8 m**

Hák podélné výztuže v patě sloupu $\geq 5\phi \rightarrow$ **návrh 100 mm**

Základní kotevní délka u hlavy sloupu pro Ø16 mm

Dle literatury[12], kap. 6.7.2, str. 199, bylo uvažováno opět $l_b = l_{brqd}$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,58 \text{ m}$$

→ **návrh 0,6 m**

Přesahová délka pro výztuž Ø22 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,725$$

$$l_o = 1,087 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 1,087 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,326 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 1,2 m}$$

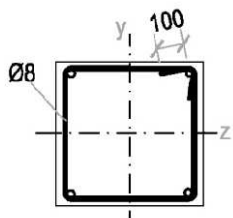
Přesahová délka pro výztuž Ø16 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,58$$

$$l_o = 0,87 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,87 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,261 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 0,9 m}$$



Kotvení třmínků

Třmínky budou zakončeny pravoúhlým ohybem s minimálním přesahem $10 \times \varnothing \rightarrow$ **návrh přesahu 100 mm**

3.2.2 Středový sloup 3.NP

Návrhové rozměry vnitřních sloupů jsou 300 x 300 mm. V každém patře uvažujeme nejvíce zatížený sloup viz. Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 3.NP

Kombinace č.	$N_{Ed}(\text{kN})$	$M_{Edy}(\text{kNm})$	$M_{Edz}(\text{kNm})$	$V_{Edy}(\text{kN})$	$V_{Edz}(\text{kN})$
CO69/1	-338,31	4,95	23,36	9,16	3,13
CO100/4	-131,63	0,31	40,49	19,80	0,65
CO5/2	-143,34	45,27	0,01	2,31	22,3

Pro výpočet bude užita nejhorší kombinace CO22/1.

Délka sloupu $l = 3,75 \text{ m}$

Předpokládaný průměr výztuže Ø16

Krycí vrstva výztuže

$$\text{Třmínků } \varnothing_s = 8 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Podélná výztuž } \phi = 16 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (16; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 16 + 10 = 26 \text{ mm}$$

Jelikož požadované krytí třmíneků je $c_{min} = 20 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude

$$c_{nom} = 20 + 8 = 28 \geq 26, \text{ zvolíme } c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

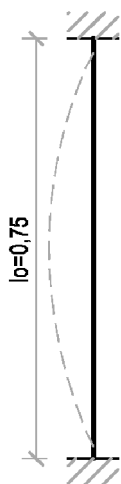
$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 16 + 16 \cdot 0,5 = 38 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,038 = 0,262 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,36 = 0,112 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,36 = 0,112 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,224 \text{ m}$$



Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,75 \cdot l = 2,813 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0021}{0,09}} = 0,087 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{2,813}{0,087} = 32,48$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{338,31}{0,09 \cdot 20} = 0,188$$

Limitní štíhlost

$$A = 1; B = 1,1; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,188}} = 22,87$$

$\lambda = 32,48 > \lambda_{lim} = 22,87 \rightarrow$ je nutné počítat s účinky druhého řádu

Jmenovitá tuhost

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{31}{1,2} = 25,83 \text{ GPa}$$

$\varphi_{ef} = 0$ - Je splněna podmínka dle ČSN EN 1992-1-1[3]

$$K_c = \frac{0,3}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{0,3}{1 + 0} = 0,3$$

$$I_c = 0,00068 \text{ m}^4; K_s = 1$$

$$I_s = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,016^4}{32} = 6,43 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s$$

$$EI = 0,3 \cdot 25,83 \cdot 0,00068 + 0,3 \cdot 200 \cdot 6,34 \cdot 10^{-9}$$

$$EI = 5,23 \cdot 10^3 \text{ kNm}^4$$

Vliv vzpěru

Vzpěrné břemeno

$$N_b = \frac{\pi \cdot EI}{l_o^2} = \frac{\pi \cdot 97,75 \cdot 10^3}{2,813^2} = 6,53 \text{ MN}$$

$$e_o = \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 0,02 \text{ m} \quad c_o = 8$$

Celkové přetvoření

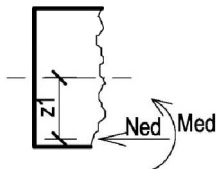
$$\beta = \frac{\pi}{c_o} = \frac{3,14}{0,8} = 1,23$$

Celkový ohybový moment druhé řádu

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_o = 23,36 + (-338,31 \cdot 0,02) = 16,59 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{|N_{Ed}|} - 1}\right) = 22 \cdot \left(1 + \frac{12,34}{\frac{6,53}{338,31} - 1}\right) = 27,78 \text{ kNm}$$

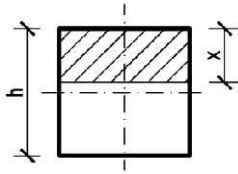
$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 27,28 - (-338,31) \cdot 0,112 = 65,67 \text{ kNm}$$



Výpočet tlačené oblasti betonu

$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,262 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$|N_{Ed}| = 338,31 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 775,76 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$



$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,262}{0,8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 65,67 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,262^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,057 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,262 = 0,162 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,057 < x_{bal,1} = 0,162 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

Požadovaná plocha výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,063 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 274,65 \text{ kN}$$

$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = 274,65 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,057) \\ = 34,91 \text{ kN}$$

$$\Delta N = -N_{Ed} - F_c = 338,31 - 274,65 = 63,66 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = 71,06 - 37,48 = -7,13 \text{ kN}$$

$$A_{s1} = \left| \frac{\Delta N}{2} - \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{63,66}{2} - \frac{-7,13}{0,224} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 146,42 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{63,66}{2} + \frac{-7,13}{0,224} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 0 \text{ mm}^2$$

Navrhujeme výztuž za předpokladu symetrického vyztužení průřezu

$$\rightarrow A_{s1} = 402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R16$$

$$A_{s2} = 402 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \varnothing R16$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si.min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |338,31|}{435 \cdot 10^3} = 38,90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si.min} \geq 0,001 \cdot A_c = 90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 3,6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 402 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{si,min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 804 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,262 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 775,76 \text{ kN} > |N_{Ed}| = 338,31 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s) = -(0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 + 402) \cdot 400 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -2121,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,262 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3) = -1432,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,262 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,262) + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 76,42 \text{ kN}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

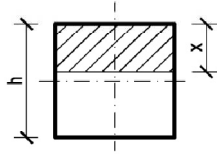
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,262 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (402 - 402) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -775,76 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd}) = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,262 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 103 \cdot 0,50,3 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,262 + 402 \cdot 10 - 6 \cdot 0,112 + 402 \cdot 10 - 6 \cdot 0,112 \cdot 435 \cdot 103$$

$$M_{RD,bal} = 146,49 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{(|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd})}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{(429,46 - 402 \cdot 435 \cdot 10^3 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3)}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$x = 0,089 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$= 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,089 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,089) + 402 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,112 + 402 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,112$$

$$M_{Rd} = 78,79 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 78,79 \text{ kNm} > M_{Ed} = 23,39 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

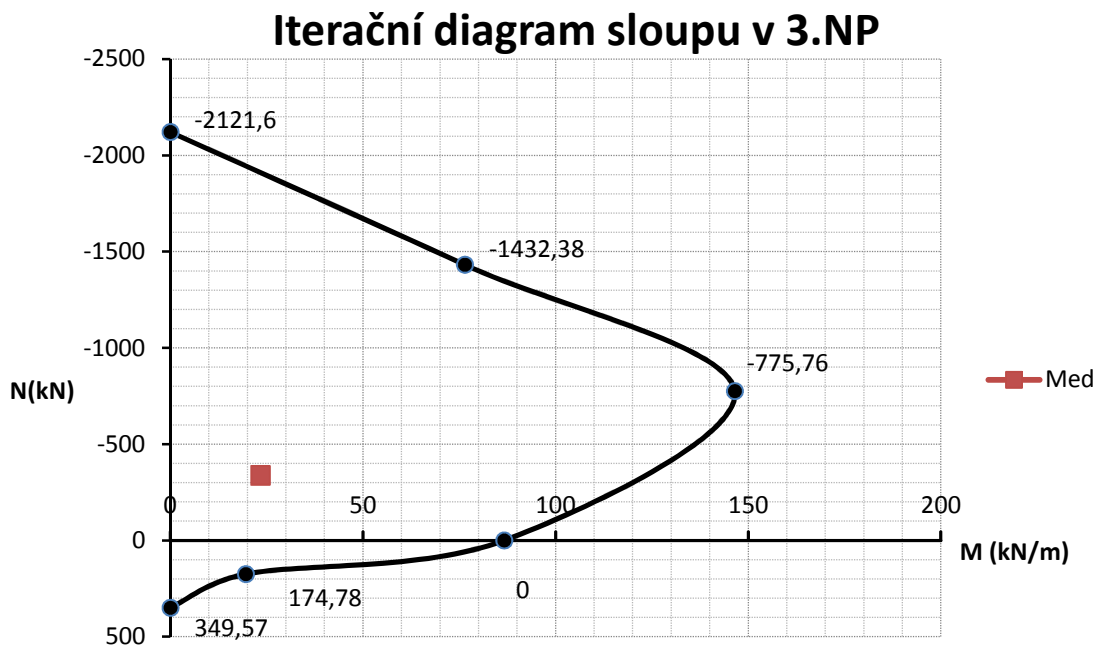
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 174,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 19,58 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 349,57 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 3.7 Iterační diagram sloupu 3.NP

3.2.3 Středový sloup v 2.NP

Opět v patře uvažujeme nejvíce zatížený sloup 300 x 300 s daných kombinací dle výstupu ze software[9] viz Tab. 3.5. Ostatní parametry jsou shodné jako u předchozího sloupu v 3.NP

Tab. 3.5 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 2.NP

Kombinace č.	N_{Ed} (kN)	M_{Edy} (kNm)	M_{Edz} (kNm)	V_{Edy} (kN)	V_{Edz} (kN)
CO68/19	-812,37	1,02	19,30	7,74	0,03
CO117/7	-314,38	2,32	40,57	26,39	0,45
CO5/2	-283,81	48,09	5,29	2,78	29,47

Pro výpočet bude užitá nejhorší kombinace **CO68/19**.

Délka sloupu $l = 3,75$ m

Předpokládaný průměr výztuže $\varnothing 20$

Krycí vrstva výztuže

Třmínků $\varnothing_s = 8$ mm

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10$ mm)

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{Podélná výztuž } \phi = 20 \text{ mm}}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (20; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Jelikož požadované krytí třmínků je $c_{min} = 20 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude

$$c_{nom} = 20 + 8 = 28 \leq 30, \text{ zvolíme } c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

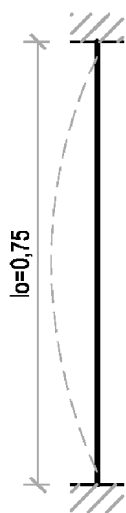
$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 30 + 20 \cdot 0,5 = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,046 = 0,26 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,40 = 0,11 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,40 = 0,11 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,22 \text{ m}$$



Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,75 \cdot l = 2,813 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0007}{0,09}} = 0,09 \text{ m} \quad \lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{2,813}{0,09} = 32,48$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{812,37}{0,09 \cdot 20} = 0,451$$

Limitní štíhlost

$$A = 1 ; B = 1,1 ; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,451}} = 16,05$$

$\lambda = 32,48 > \lambda_{lim} = 16,05 \rightarrow$ je nutné počítat s účinky druhého řádu

Jmenovitá tuhost

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{31}{1,2} = 25,83 \text{ GPa}$$

$$K_c = \frac{0,3}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{0,3}{1 + 0} = 0,3$$

$$I_c = 0,00068 \text{ m}^4 ; K_s = 1$$

$$I_s = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,253^4}{32} = 7,85 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s$$

$$EI = 0,3 \cdot 25,83 \cdot 0,00068 + 0,3 \cdot 200 \cdot 7,85 \cdot 10^{-9}$$

$$EI = 5,23 \cdot 10^3 \text{ kNm}^4$$

Vliv vzpěru

Vzpěrné břemeno

$$N_b = \frac{\pi \cdot EI}{l_o^2} = \frac{\pi \cdot 5,23 \cdot 10^3}{2,813^2} = 6,53 \text{ MN}$$

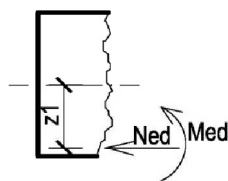
$$e_o = \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 0,02 \text{ m} \quad c_o = 8$$

Celkové přetvoření

$$\beta = \frac{\pi}{c_o} = \frac{3,14}{0,8} = 1,23$$

Celkový ohybový moment druhé řádu

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_o = 19,30 + (-838,37) \cdot 0,02 = 3,05 \text{ kNm}$$

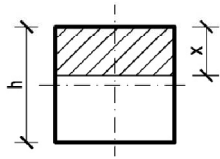


$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{|N_{Ed}|} - 1}\right) = 3,05 \cdot \left(1 + \frac{12,34}{\frac{6,53}{|812,37|} - 1}\right) = 3,58 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = 3,58 + 812,37 \cdot 0,104 = -85,77 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$|N_{Ed}| = 812,37 \text{ kN} > N_{c,bal} = 769,84 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tlak ve výztuži}$$



$$x = \frac{d_2}{\lambda} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d_2^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,04}{0,8} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (-85,77 \cdot 10^3)}{0,3 \cdot 0,04^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,267 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,26 = 0,160 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} < x = 0,26 < h/\lambda = 0,375 \rightarrow \text{oblast II iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s2,req} = \frac{-N_{Ed} - \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_{s2,req} = \frac{812,37 - 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,267 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3}$$

$$A_{s2,req} = 1081,38 \text{ mm}^2$$

Navrhne výztuž za předpokladu symetrického vyztužení průřezu

$$\rightarrow A_{s1} = 1257 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \times \text{ØR20}$$

$$A_{s2} = 1257 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \times \text{ØR20}$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si,min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |812,37|}{435 \cdot 10^3} = 93,423 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si,min} \geq 0,001 \cdot A_c = 90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 1140 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si,min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2514 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,362 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (1257 - 1257) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 812,37 \text{ kN} > N_{Ed} = 769,84 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tlak}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s) = -(0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (1140 + 1140) \cdot 400 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -2805,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 1257 \cdot 10^3) = -1794,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,26) + 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 117,53 \text{ kNm}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

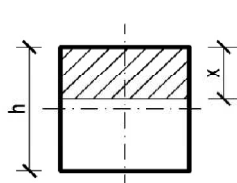
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (1257 - 1257) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -883,77 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,26) + (1257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,103 + 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,110) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 198,86 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{(|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd})}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{(812,37 - 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3)}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$x = 0,17 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \\ &= 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,17) \\ &\quad + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,110 + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,110 \end{aligned}$$

$$M_{RD} = 182,29 \text{ kNm} > M_{Ed} = 19,3 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

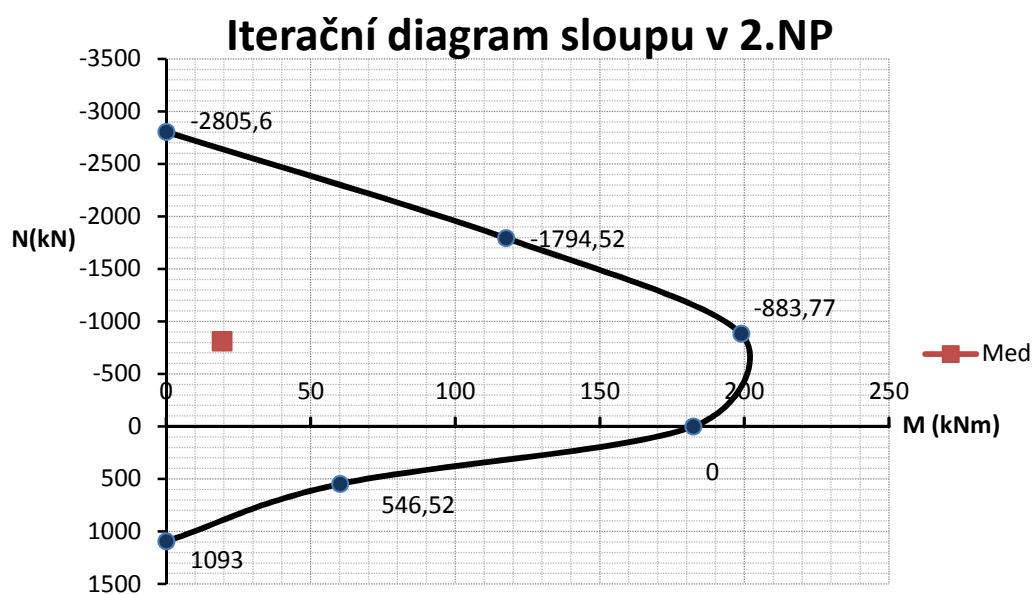
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 546,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 60,12 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 1093,04 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 3.8 Iterační diagram sloupu 2.NP

3.2.4 Středový sloup 1.NP

Stále uvažujeme nejvíce zatížený sloup 300 x 300 z daných kombinací dle výstupu ze software[9] viz Tab. 3.6. Ostatní parametry jsou shodné jako předchozí sloup v 2.NP

Tab. 3.6 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 1.NP

Kombinace č.	$N_{Ed}(kN)$	$M_{Edy}(kNm)$	$M_{Edz}(kNm)$	$V_{Edy}(kN)$	$V_{Edz}(kN)$
CO67/1	-1320,82	1,39	4,08	2,06	0,99
CO101/4	-391,69	49,09	5,43	3,76	27,56
CO101/3	-516,03	43,41	0,6	0,16	14,23

Pro výpočet bude užita nejhorší kombinace **CO67/1**.

Délka sloupu $l = 4,25 \text{ m}$

Předpokládaný průměr výztuže $\varnothing 20$

Krycí vrstva výztuže

Třmínků $\varnothing_s = 8 \text{ mm}$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Podélná výztuž $\varnothing = 25 \text{ mm}$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

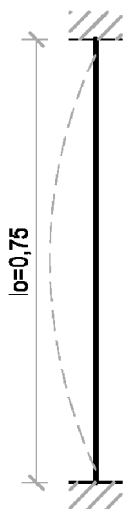
$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (20; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Jelikož požadované krytí třmínků je $c_{min} = 20 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude

$$c_{nom} = 20 + 8 = 28 \leq 32, \text{ zvolíme } c_{nom} = 30 \text{ mm}$$



$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 30 + 20 \cdot 0,5 = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,3 - 0,04 = 0,26 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,4 = 0,11 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,3 - 0,4 = 0,11 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,22 \text{ m}$$

Štíhlost sloupu

$$l_o = 0,75 \cdot l = 3,188 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,00007}{0,09}} = 0,09 \text{ m} \quad \lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{3,188}{0,09} = 36,81$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1320,82}{0,09 \cdot 20} = 0,734$$

Limitní štíhlost

$$A = 1; B = 1,1; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,734}} = 12,58$$

$$\lambda = 36,81 > \lambda_{lim} = 12,58 \rightarrow \text{je nutné počítat s účinky druhého řádu}$$

Jmenovitá tuhost

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1,2} = \frac{31}{1,2} = 25,83 \text{ GPa}$$

$$\varphi_{ef} = 0 \text{ - Je splněna podmínka pro ČR dle ČSN EN 1992-1-1[3]}$$

$$K_c = \frac{0,3}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{0,3}{1 + 0} = 0,3$$

$$I_c = 0,00068 \text{ m}^4; K_s = 1$$

$$I_s = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,253^4}{32} = 7,85 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_c \cdot E_s \cdot I_s \\ = 0,3 \cdot 25,83 \cdot 0,00068 + 0,3 \cdot 200 \cdot 7,85 \cdot 10^{-9}$$

$$EI = 5,23 \cdot 10^3 \text{ kNm}^4$$

Vliv vzpěru

Vzpěrné břemeno

$$N_b = \frac{\pi \cdot EI}{l_o^2} = \frac{\pi \cdot 5,23 \cdot 10^3}{3,188^2} = 5,08 \text{ MN}$$

$$e_o = \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 0,02 \text{ m} \quad c_o = 8$$

Celkové přetvoření

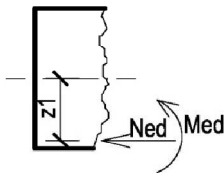
$$\beta = \frac{\pi}{c_o} = \frac{3,14}{8} = 1,23$$

Celkový ohybový moment druhé řádu

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_o = 4,06 + (-1320,82) \cdot 0,02 = -22,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{|N_{Ed}|} - 1}\right) = 26,42 \cdot \left(1 + \frac{12,34}{\frac{3,74}{1320,82} - 1}\right) = -35,87 \text{ kNm}$$

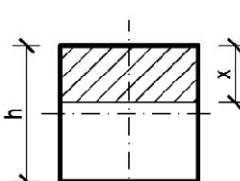
$$M_{Ed2} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot z_2 = |-35,87| + 1320,82 \cdot 0,110 = -109,42 \text{ kNm}$$



$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$|N_{Ed}| = 1320,82 \text{ kN} > N_{c,bal} = 769,84 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tlak ve výztuži}$$

$$x = \frac{d_2}{\lambda} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed2}}{b \cdot d_2^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right)$$


$$\begin{aligned} x &= \frac{0,040}{0,8} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (-109,42 \cdot 10^3)}{0,3 \cdot 0,040^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}}\right) \\ x &= 0,294 \text{ m} \end{aligned}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,26 = 0,16 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} < x = 0,294 < h/\lambda = 0,375 \rightarrow \text{oblast II iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

Požadovaná plocha výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,294 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1410,77 \text{ kN}$$

$$M_c = F_c \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) = 1410,77 \cdot 0,5 \cdot (0,3 - 0,8 \cdot 0,294)$$

$$M_c = 45,76 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = -N_{Ed} - F_c = 1320,82 - 1410,77 = -89,95 \text{ kN}$$

$$\Delta M = M_{Ed} - M_c = -109,42 - 45,76 = -81,63 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} - \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-89,95}{2} - \frac{-81,63}{0,22} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 749,91 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \left| \frac{\Delta N}{2} + \frac{\Delta M}{z_s} \right| \cdot \frac{1}{f_{yd}} = \left| \frac{-89,95}{2} + \frac{-81,63}{0,22} \right| \cdot \frac{1}{435 \cdot 10^3} = 956,79 \text{ mm}^2$$

Navrhujeme výztuž pro tento směr působení momentu za předpokladu symetrického vyztužení $\rightarrow A_{s1} = 1257 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \text{ ØR20}$

$$A_{s2} = 1257 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \text{ ØR20}$$

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si.min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |1320,82|}{435 \cdot 10^3} = 151,894 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si.min} \geq 0,001 \cdot A_c = 90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 1140 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si.min} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2,514 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,26 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + (1257 - 1257) \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 769,84 \text{ kN} < N_{Ed} = 1320,82 \text{ kN} \rightarrow \textbf{převládá tlak}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa} \quad \sigma_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3} E_s (\xi_{bal,1} \cdot d - d_2)}{\xi_{bal,1} \cdot d} = 520.36 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s) = -(0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + (1257 + 1257) \cdot 400 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd0} = -2805,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,254 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1140 \cdot 10^{-6} \cdot 1140 \cdot 10^3) \\ = -1794,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,25) + 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 117,53 \text{ kNm}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} - A_{s1} \cdot f_{yd})$$

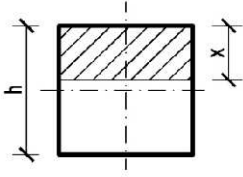
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1257 \cdot 525,42 \cdot 10^3 - 1140 \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -883,77 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,26) + (1257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,11 + 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,11) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 198,86 \text{ kNm}$$

3. bod iteračního diagramu



$$x = \frac{(|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd})}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{(1320,82 - 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3)}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}$$

$$x = 0,28 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \\ &= 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,28 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,3 - 0,8 \cdot 0,28) \\ &\quad + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,110 + 1257 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,110 \end{aligned}$$

$$M_{RD} = 168,17 \text{ kNm} > M_{Ed} = 4,08 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

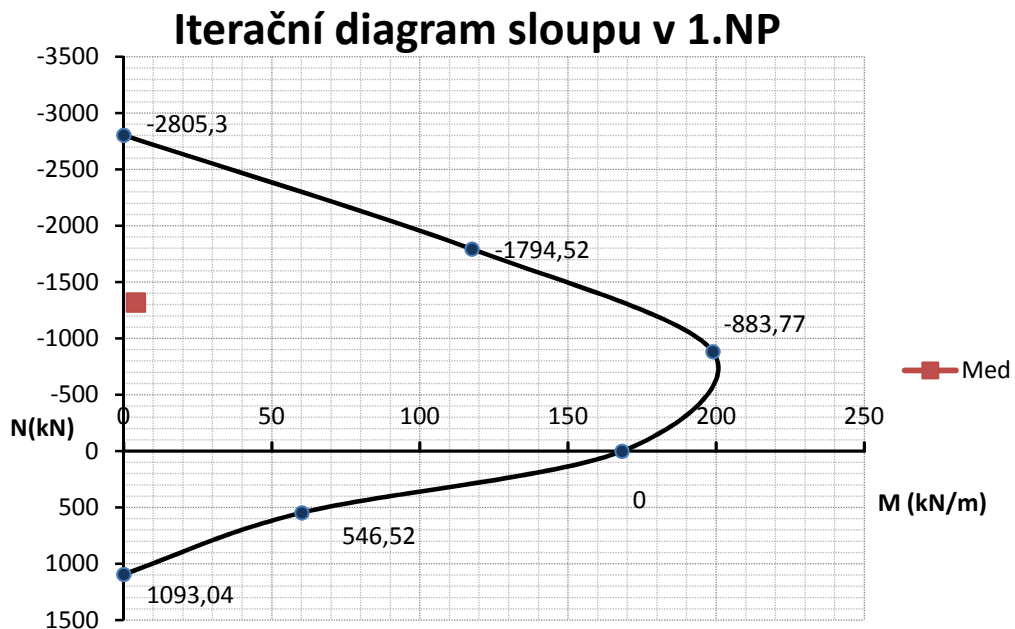
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 546,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 60,12 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 1093,04 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



Obr. 3.9 Iterační diagram sloupu 1.NP

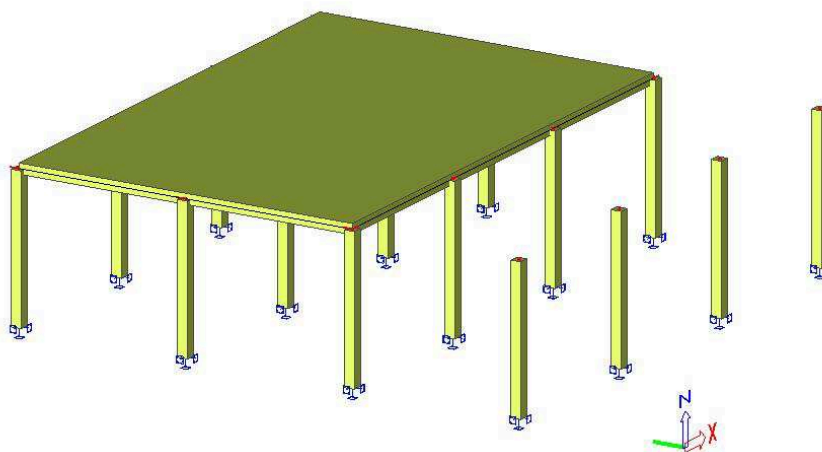
3.3 Deska 1.NP

Pro návrh byly užity dimenzační momenty s přihlédnutím krouticích momentu podle následujících vzorců, kde sgn značí znaménko momentu.

$$m_{x,dim} = m_x \cdot sgn(m_x) \cdot |m_{xy}|$$

$$m_{y,dim} = m_y \cdot sgn(m_y) \cdot |m_{xy}|$$

3.3.1 Návrh ohybové výztuže ve směru x



Obr. 3.10-Deska 1.NP

Obr.3.11-Shrnutí zatížení působících na desku

Druh zatížení - stálé	Charakteristické zatížení g_k [kN/m ²]	$\gamma_{G,sup}$	Návrhové zatížení g_k [kN/m ²]
Podlaha tl.100mm desky	2,62	1,35	3,54
Deska tl. 300mm	0,3 x 25=7,5	1,35	10,13
Přemístitelné příčky dle [5]	1,2	1,35	1,62
CELKEM - STÁLÉ	11,32		15,29
Druh zatížení - užitné	Charakteristické zatížení q_k [kN/m ²]	$\gamma_{Q,sup}$	Návrhové zatížení q_k [kN/m ²]
Nahodilé zatížení dle [5] – kancelářské prostory kat. B	3,0	1,5	4,5
CELKEM UŽITNÉ –	3,0		4,5

Materiály

Beton C30/37

$$\alpha = 1 \quad f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad \mu = 1 \quad \gamma = 1,5$$

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \text{ MPa}$$

Výztuž B500B(10 505)

$$\gamma_s = 1,15 \quad f_{yk} = 325 \text{ MPa} \quad E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 283 \text{ MPa} \quad \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot 1000 = 1,413$$

$$\text{Podmínka pro tahovou výztuž } \varepsilon_{cu} = 3,5$$

$$\xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,712$$

Krycí vrstva

Hlavní výztuž podélná

$$\phi = 10 \text{ mm} \quad h = 0,3 \text{ m}$$

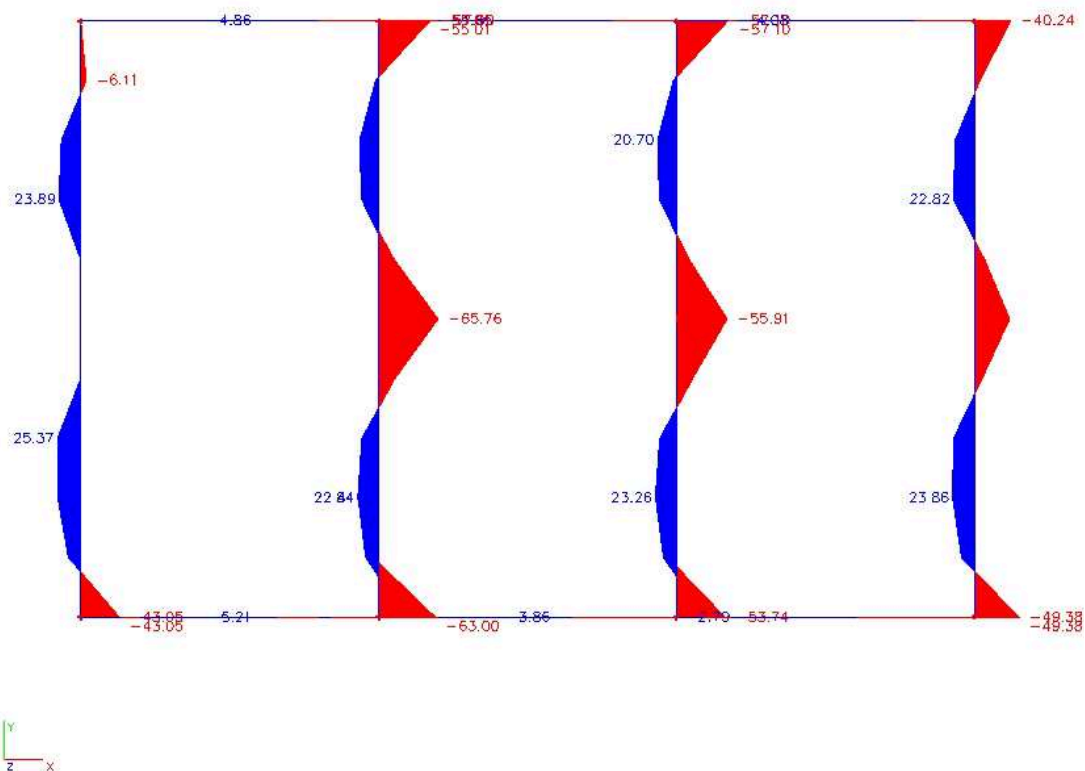
$$c_{min} = (10; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 10 \text{ mm} (XC1, S3)$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm}$$

Horní výztuž



Obr. 3.12- Průběh dimenzačních momentů $m_{y,dim}$

Tab. 3.7 Hodnoty z výpočtu

Užité hodnoty do výpočtu	(kNm)
$M_{Ed-nad\ podporou}$	-65,76
M_{Ed}	25,37

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = h - (20 + 10 \cdot 0,5) = 0,275 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil

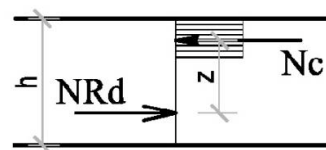
$$z = 0,9 \cdot d = 0,248 \text{ m}$$

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = -65,76 \text{ kNm}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|65,76|}{0,248} = 265,7 \text{ kN}$$



Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s.req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{265,7}{435} = (611,1 \cdot 10^{-6}) m^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st.1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 10^2)}{4} = 78,54 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s.req}}{A_{st.1}} = \frac{611,1 \cdot 10^{-6}}{78,54 \cdot 10^{-6}} = 7,78 \text{ ks}$$

→ **zaokrouhlíme na 8ks /m**

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{8} = 125 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 125 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 78,54 \cdot \frac{1}{125} = 628,32 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 b \cdot d\right) = (357,5 \cdot 10^{-6}) m^2$$

$$A_c = h^2 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 628,32 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s.max} = 0,04 \cdot A_c = (3,6 \cdot 10^{-6}) m^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

$$A_{st} = 628,32 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s.min} = (478,72 \cdot 10^{-6}) m^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Posouzení výztuže

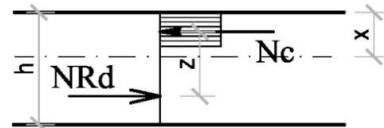
Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 628,32 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{273,18 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 17,07 \text{ mm}$$



Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,272 - \frac{0,8 \cdot 0,017}{2} = 0,268 \text{ m}$$

Ohybová únosnost vyztužené

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 273,18 \cdot 10^3 \cdot 0,268 = 73,26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 73,26 \text{ kNm} > M_{Ed} = 65,76 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$a_s - \phi = 0,115 \text{ m} > a_{s,min} = \max(\phi, d_g + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 125 \text{ mm} < a_{s,max} = \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž

$$a_{s,req} = 0,2 \cdot A_{st} = 0,2 \cdot 628,32 = 125,66 \text{ mm}^2$$

→ návrh rozdělovací výztuže Ø6 á 200, bude nahrazena výztuží ve směru y nad podporou

Dolní výztuž

Krycí vrstva

Hlavní výztuž podélná

$$\phi = 10 \text{ mm} \quad h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

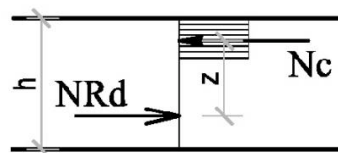
$$c_{min} = 10 \text{ mm}(\text{XC1, S3})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = 0,3 - (20 + 8 \cdot 0,5) = 0,276 \text{ m}$$



Rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 \cdot d = 0,248 \text{ m}$$

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 25,37 \text{ kNm}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|25,37|}{0,248} = 102,13 \text{ kN}$$

Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s.req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{102,51}{435} = (234,91 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st.1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 10^2)}{4} = 50,27 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s.req}}{A_{st.1}} = \frac{234,91 \cdot 10^{-6}}{50,27 \cdot 10^{-6}} = 4,67 \text{ ks} \rightarrow$$

zaokrouhlíme na 5 ks /m

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{5} = 200 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 200 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 50,27 \cdot \frac{1}{200} = 251,33 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 b \cdot d\right) = (358,8 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

$$A_c = h^2 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 251,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s.max} = 0,04 \cdot A_c = (3,6 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$A_{st} = 251,33 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s,min} = (484 \cdot 10^{-6}) m^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení výztuže

Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 251,33 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 109,27 \text{ kN}$$

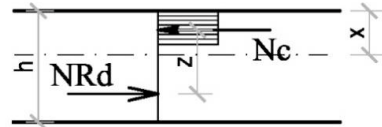
Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{109,27 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 6,83 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,276 - \frac{0,8 \cdot 0,068}{2} = 0,273 \text{ m}$$



Ohybová únosnost vyztuženě

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 109,27 \cdot 10^3 \cdot 0,273 = 29,86 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 29,86 \text{ kNm} > M_{Ed} = 25,49 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$a_s - \phi = 0,192 \text{ m} > a_{s,min} = \max(\phi, d_g + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 200 \text{ mm} < a_{s,max} = \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž

$$a_{s,req} = 0,2 \cdot A_{st} = 0,2 \cdot 251,33 = 50,26 \text{ mm}^2$$

→ návrh rozdělovací výztuže Ø6 á 200, rozdělovací výztuž bude nahrazena nosnou výztuží ve směru y.

Základní kotevní délka dolní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,29 \text{ m}$$

Přesahová délka pro výztuže Ø8 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,29 = 0,435 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,435 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 0,5m}$$

Základní kotevní délka horní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,362 \text{ m}$$

Přesahová délka pro výztuže 10 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,362 = 0,0543 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,54 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 0,6 m}$$

3.3.2 Návrh ohybové výztuže ve směru y dle Obr. 3.10

Hlavní výztuž podélná

$$\phi = 10 \text{ mm} h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (10; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 10 \text{ mm}(XC1, S3)$$

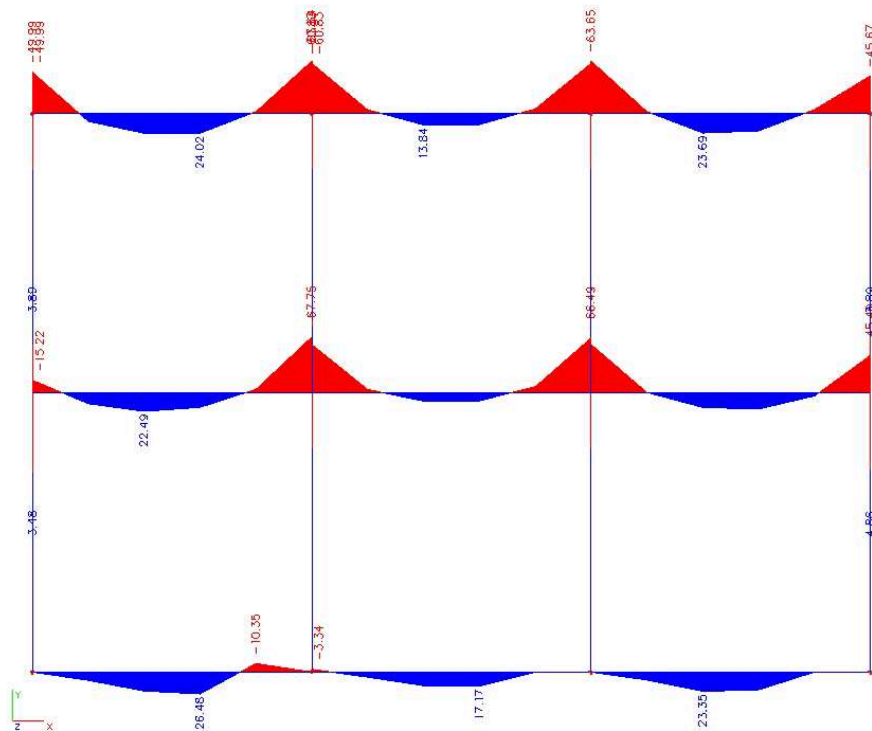
$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm}$$

Horní výztuž

Dimenzační momenty

výstup z programu SCIA[9] v jednotlivých uzlech. Návrhový moment pro výpočet ve směru y je uvažován v uzlu **N54**.



Obr. 3.13 Průběh dimenzačních momentů $m_{x,dim}$

Tab. 3.8 Výstupní hodnoty z SCIA pro horní výztuž desky

Užité hodnoty do výpočtu	(kNm)
M_{Ed}	-67,75
M_{Ed}	26,48

Hlavní podélná výztuž

$$\phi = 10 \text{ mm} \cdot h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (10; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 10 \text{ mm} (XC1, S3)$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = 0,3 - (20 + 10 \cdot 0,5) = 0,275 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil

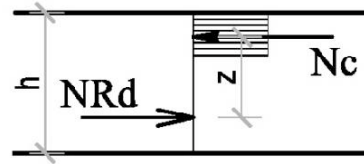
$$z = 0,9 \cdot d = 0,248 \text{ m}$$

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = -67,75 \text{ kNm}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|67,75|}{0,242} = 273,74 \text{ kN}$$



Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s.req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{273,74}{435} = (629,6 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st.1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 10^2)}{4} = 78,54 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s.req}}{A_{st.1}} = \frac{629,6 \cdot 10^{-6}}{78,54 \cdot 10^{-6}} = 8,02 \text{ ks} \rightarrow$$

→ **zaokrouhlíme na 8ks /m**

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{7} = 125 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 125 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 78,54 \cdot \frac{1}{125} = 638,32 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = (357,5 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

$$A_c = h^2 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 638,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s.max} = 0,04 \cdot A_c = (3,6 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

$$A_{st} = 638,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s.min} = (349,7 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Posouzení výztuže

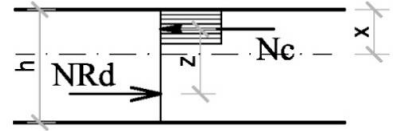
Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 638,32 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{273,18 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 17,07 \text{ mm}$$



Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,269 - \frac{0,8 \cdot 0,017}{2} = 0,268 \text{ m}$$

Ohybová únosnost vyztužené

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 273,18 \cdot 10^3 \cdot 0,268 = 73,26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 73,26 \text{ kNm} > M_{Ed} = 67,75 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

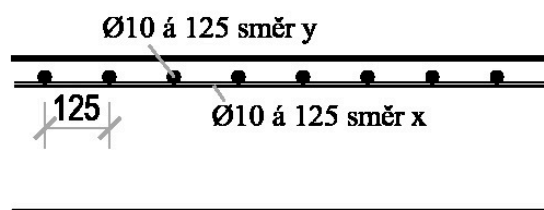
$$a_s - \phi = 0,115 \text{ m} > a_{s,min} = \max(\phi, d_g + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 125 \text{ mm} < a_{s,max} = \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž bude nahrazena nosnou výztuží z kolmého směru x Ø10 á 125 mm z předchozího výpočtu.



Obr. 3.14 Výztuž desky při horním okraji

Základní kotevní délka horní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,362 \text{ m}$$

Přesahová délka pro výztuže Ø10 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,543 = 0,543 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,54 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 0,6 m}$$

Dolní výztuž

$$\phi = 8 \text{ mm} \quad h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 10 \text{ mm}(\text{XC1, S3})$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

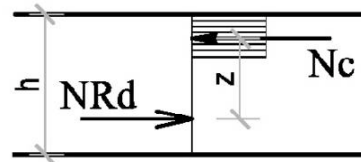
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = 0,3 - (20 + 8 \cdot 0,5) = 0,276 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 \cdot d = 0,248 \text{ m}$$



Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 26,48 \text{ kNm}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|26,48|}{0,248} = 106,6 \text{ kN}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{106,6}{435} = (245,19 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st,1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 8^2)}{4} = 50,27 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{st,1}} = \frac{245,19 \cdot 10^{-6}}{50,27 \cdot 10^{-6}} = 4,88 \text{ ks}$$

→zaokrouhlíme na 5 ks / m

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{5} = 200 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 200 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 50,27 \cdot \frac{1}{200} = 251,33 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 b \cdot d\right) = (358,8 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

$$A_c = h^2 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 251,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = (3,6 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

$$A_{st} = 251,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s,min} = (358,8 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Posouzení výztuže

Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 251,33 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 109,27 \text{ kN}$$

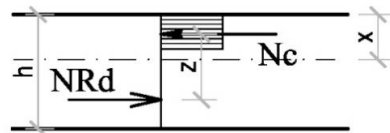
Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{109,27 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 6,83 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,276 - \frac{0,8 \cdot 0,0068}{2} = 0,273 \text{ m}$$



Ohybová únosnost vyztužené

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 109,27 \cdot 10^3 \cdot 0,273 = 29,86 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 29,86 \text{ kNm} > M_{Ed} = 26,48 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

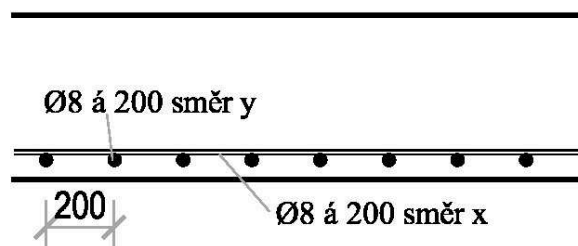
$$a_s - \phi = 0,192 \text{ m} > a_{s,min} = \max(\phi, d_g + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 200 \text{ mm} < a_{s,max} = \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž bude nahrazena nosnou výztuží z kolmého směru x 8 á 200 mm z předchozího výpočtu dolní výztuže.



Obr. 3.15 Výztuž desky při spodním okraji

Základní kotevní délka dolní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,29 \text{ m}$$

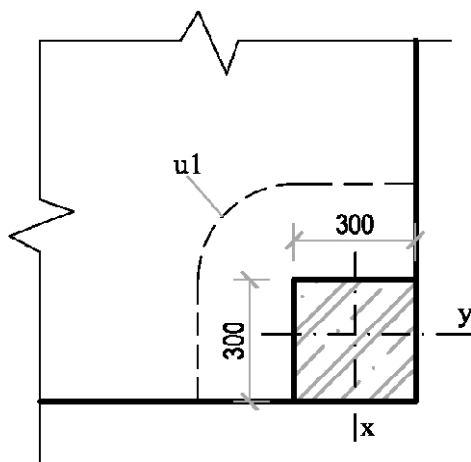
Přesahová délka pro výztuže Ø8 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,29 = 0,435 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,435 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 0,5 m}$$

3.3.3 Únosnost desky na protlačení v rohovém sloupu



Obr. 3.16 Vyšetřovaný obvod sloupu

Účinná výška průřezu ve směru x a y

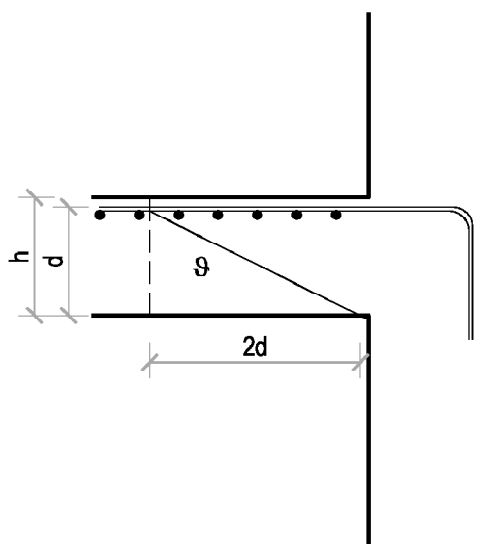
$$d_x = h - c_{nom} - 0,5\phi = 0,3 - 0,02 - 0,5 \cdot 0,0010 = 0,275 \text{ m}$$

$$d_y = h - c_{nom} - 1,5\phi = 0,3 - 0,02 - 1,5 \cdot 0,0010 = 0,275 \text{ m}$$

$$d = d_{eff} 0,5(d_x + d_y) = 0,5(0,275 + 0,275) = 0,27$$

Základní kontrolovaný obvod viz Obr.3.17

$$u_1 = (c_1 + c_2) + \pi d = (0,3 + 0,3) + \pi \cdot 0,27 = 1,448 \text{ m}$$



Obr.3.17 Řez základním kontrolním obvodem

Modul

$$W_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1 c_2 + 4c_1 d + 8d^2 + \pi d c_2 = 1,274 \text{ m}^2$$

Tab. 3.9 Hodnoty k

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,6	0,7	0,8

Dle Tab. 3.9 byl vybrán součinitel $k=0,6$

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,6 \frac{40,35}{64,72} \cdot \frac{1,448}{1,274} = 1,425$$

$$u_0 = 3 \cdot d = 0,6 \text{ m}$$

Součinitel zmenšení únosnosti tlakových diagonál

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,528$$

Návrhová hodnota smykové odolnosti v protlačení

$$v_{Rd,max} = 0,5 v f_{cd} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 = 5,28 \text{ MPa}$$

Smyková odolnost v protlačení v přiléhajícím obvodě

$$v_{Ed,max} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,max}}{u_0 d} = 1,425 \cdot \frac{0,8}{0,6 \cdot 0,27} = 0,569 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,max} = 0,569 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 5,28 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna}$$

Smyková odolnost v základním obvodě

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{275}} = 1,861$$

$A_{stx} = 638,32 \text{ mm}^2$ - plocha výztuže převzata z předchozího návrhu ve směru x nad podporou

$$\rho_x = \frac{A_{stx}}{b \cdot d_x} = \frac{638,32 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,275} = 0,0024$$

$A_{sty} = 638,32 \text{ mm}^2$ - plocha výztuže převzata z předchozího návrhu ve směru y nad podporou

$$\rho_y = \frac{A_{sty}}{b \cdot d_y} = \frac{638,32 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,275} = 0,0023$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x + \rho_y} = \sqrt{0,0024 + 0,0023} = 0,0024$$

Smyková odolnost na protlačení bez smykové výztuže

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,861 \cdot (100 \cdot 0,0024 \cdot 30)^{1/3}$$

$$v_{Rd,c} = 0,429 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 1,861^{3/2} \cdot \sqrt{30} = 0,487 \text{ MPa}$$

Únosnost v základním obvodě

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{ed}}{du_1} = 1,861 \cdot \frac{0,6472}{0,275 \cdot 1,448} = 0,236 \text{ MPa}$$

→ **není nutné navrhovat smykovou výztuž pro rohový sloup, přesto ji navrhne na stranu bezpečnou**

Délka obvodu, ve kterém je splněna podmínka $v_{Rd,c} \geq v_{Ed}$

$$u_{out} = \beta \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c} \cdot d} = 0,116 \frac{0,800}{0,647 \cdot 0,245} =$$

Návrh výztuže

$$\phi_{st} = 6 \text{ mm} ; s_r = 120 \text{ mm}$$

Počet prutů a plocha smykové výztuže

$$n_t = \frac{u_1}{s_r} = \frac{3,812}{0,12} =$$

$$A_{sw} = n_t \cdot A_{sw1} = \frac{32\pi 0,006^2}{4} =$$

Účinná návrhová pevnost smykové výztuže

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot 0,186 \leq f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd,ef} = 298 \text{ MPa} \leq f_{ywd} = 435 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

Smyková odolnost se smykovou výztuží

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + \frac{1,5d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{du_1}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 0,429 + \frac{1,5 \cdot 0,185}{0,12} \cdot 98,124 \cdot 10^{-6} \cdot 294 \cdot \frac{1}{0,186 \cdot 3,816}$$

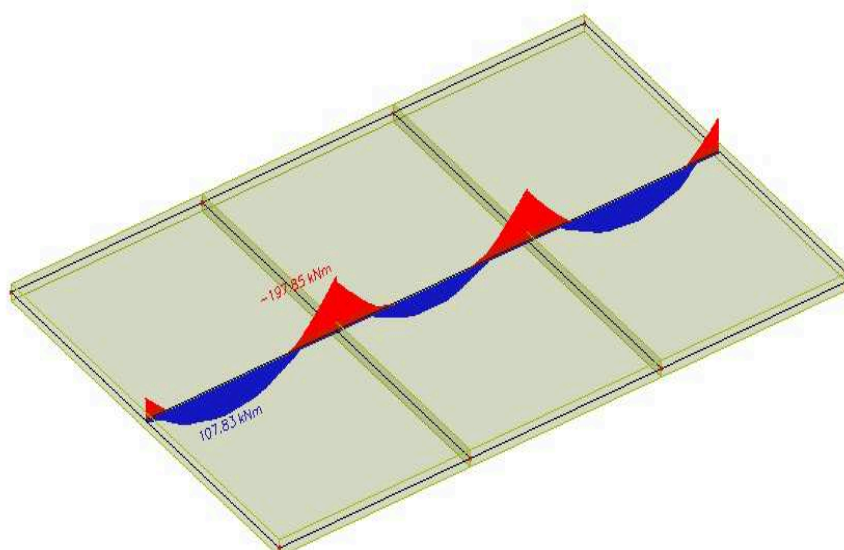
$$v_{Rd,cs} = 1,375 \text{ MPa} \geq v_{Ed} = 1,341 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

3.4 Skrytý průvlak

U skrytých průvlaků nahrazujeme ve výpočtovém modelu tzv. sloupovými pruhy o šířce $\frac{1}{4}$ délky kratšího sloupového pole. Proto byl uvažován na posouzení sloupový pruh uprostřed desky v 1.NP o šířce 2,5 m. Do výpočtu byly užity maximální ohybové moment M_{Edy} z Tab. 3.10.

Tab. 3.10 Vybrané kombinace vnitřních sil

Kombinace	$N_{Ed}(\text{kN})$	$M_{Edy}(\text{kNm})$	$M_{Edz}(\text{kNm})$	$V_{Edy}(\text{kN})$	$V_{Edz}(\text{kN})$
CO92/3	2,49	-197,85	0,12	1,71	291,16
CO117/5	3,67	107,83	0,30	0,5	9,16



Obr. 3.18 Průběh dimenzačních momentů skrytého průvlaku

3.4.1 Horní výztuž nad podporou

$$\phi = 18 \text{ mm}; h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (18; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 18 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 18 \text{ mm}(XC1, S3)$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

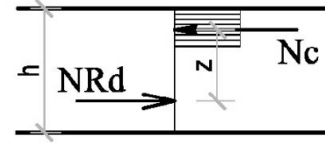
$$c_{nom} = C_{min} + \Delta c_{dev} = 28 \text{ mm} \rightarrow \text{zaokrouhlíme na } 30 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = 0,3 - (30 + 18 \cdot 0,5) = 0,261 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 \cdot d = 0,235 \text{ m}$$



Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 197,85 \text{ kNm dle Tab. 3.10}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|197,85|}{0,261} = 842,27 \text{ kN}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s.req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{842,27}{435} = (1,94 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st.1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 18^2)}{4} = 254,47 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s.req}}{A_{st.1}} = \frac{1,94 \cdot 10^{-3}}{254,47 \cdot 10^{-6}} = 7,61 \text{ ks}$$

→zaokrouhlíme na 8 ks/m

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{8} = 125 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 125 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 254,47 \cdot \frac{1}{125} = 2035,75 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 b \cdot d\right) = (339,3 \cdot 10^{-6}) m^2$$

$$A_c = h^2 = 0,3 m^2$$

$$A_{st} = 2035,75 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s.max} = 0,04 \cdot A_c = (12 \cdot 10^{-3}) m^2 \rightarrow \text{VYHOUE}$$

$$A_{st} = 2035,75 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s.min} = (339,3 \cdot 10^{-6}) m^2 \rightarrow \text{VYHOUE}$$

Posouzení výztuže

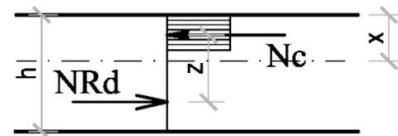
Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 2035,75 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 885,11 kN$$

Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{885,11 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 55,32 mm$$



Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,276 - \frac{0,8 \cdot 0,0055}{2} = 0,239 m$$

Ohybová únosnost vyztužené

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 885,11 \cdot 10^3 \cdot 0,239 = 211,43 kNm$$

$$M_{Rd} = 211,43 kNm > M_{Ed} = 197,85 kNm \rightarrow \text{VYHOUE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 mm$$

$$a_s - \phi = 0,107 m > a_{s.min} = \max(\phi, d_g + 5 mm) = 21 mm$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 125 mm < a_{s.max} = \min(2 \cdot h, 250 mm) = 250 mm$$

Základní kotevní délka horní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 MPa$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,652 m$$

Návrhová kotevní délka

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot \frac{c_d - \emptyset}{\emptyset} = 1 - 0,15 \cdot \frac{30 - 18}{18} = 0,9$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,652 = 0,411 \text{ m}$$

$$l_{bd} \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,411 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE, návrh kotevní délky 0,5 m}$$

Přesahová délka pro výztuže Ø18 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,652 = 0,978 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,978 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 1 m}$$

3.4.2 Spodní výztuž v poli

$$\phi = 14 \text{ mm}; h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (14; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 14 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 14 \text{ mm (XC1, S3)}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

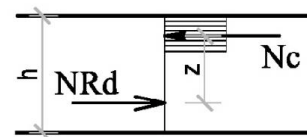
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 24 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = 0,3 - (24 + 14 \cdot 0,5) = 0,269 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 \cdot d = 0,242 \text{ m}$$



Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 107,83 \text{ kNm dle Tab. 3.10}$$

Velikost síly ve výztuži

$$N_{Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{z} = \frac{|107,83|}{0,242} = 445,39 \text{ kN}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{445,39}{435} = 1024,41 \text{ mm}^2$$

Plocha jednoho prutu

$$A_{st.1} = \frac{(\pi \cdot \phi^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 14^2)}{4} = 153,94 \text{ mm}^2$$

Počet prutů na 1bm

$$n = \frac{A_{s.req}}{A_{st.1}} = \frac{1024,41}{153,94} = 6,65 \text{ ks}$$

→zaokrouhlíme na 8 ks /m

Vzdálenost vložek

$$a_s = \frac{b}{n} = \frac{1}{8} = 125 \text{ mm} \quad \text{návrh } a_s = 125 \text{ mm}$$

Plocha výztuže na 1bm

$$A_{st} = A_{st.1} \cdot \frac{b}{a_s} = 153,94 \cdot \frac{1}{125} = 1231,5 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

Tlačená výztuž

$$f_{st} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$A_{si.min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = (349,7 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$$

$$A_c = h^2 = 0,3 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 1231,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s.max} = 0,04 \cdot A_c = (12 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

$$A_{st} = 1231,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s.min} = (349,7 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOUJE}$$

Posouzení výztuže

Únosnost výztuže

$$N_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} = 1231,5 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 535,44 \text{ kN}$$

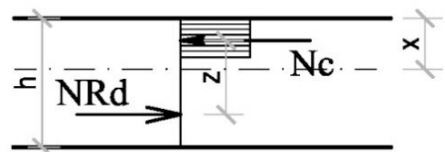
Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1; \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{N_{Rd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{535,44 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 33,46 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,269 - \frac{0,8 \cdot 0,0033}{2} = 0,256 \text{ m}$$



Ohybová únosnost vyztužené

$$M_{Rd} = N_{Rd} \cdot z = 535,44 \cdot 10^3 \cdot 0,269 = 136,87 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 136,87 \text{ kNm} > M_{Ed} = 107,83 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOUE}$$

Konstrukční zásady

Minimální vzdálenost

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$a_s - \phi = 0,111 \text{ m} > a_{s,min} = \max(\phi, d_g + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost

$$a_s = 125 \text{ mm} < a_{s,max} = \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Základní kotevní délka horní výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{435}{3} = 0,507 \text{ m}$$

Návrhová kotevní délka

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot \frac{c_d - \phi}{\phi} = 1 - 0,15 \cdot \frac{30 - 14}{14} = 0,893$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,893 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,652 = 0,317 \text{ m}$$

$$l_{bd} \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_{bd} = 0,317 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}, \text{ návrh kotevní délky } 0,4 \text{ m}$$

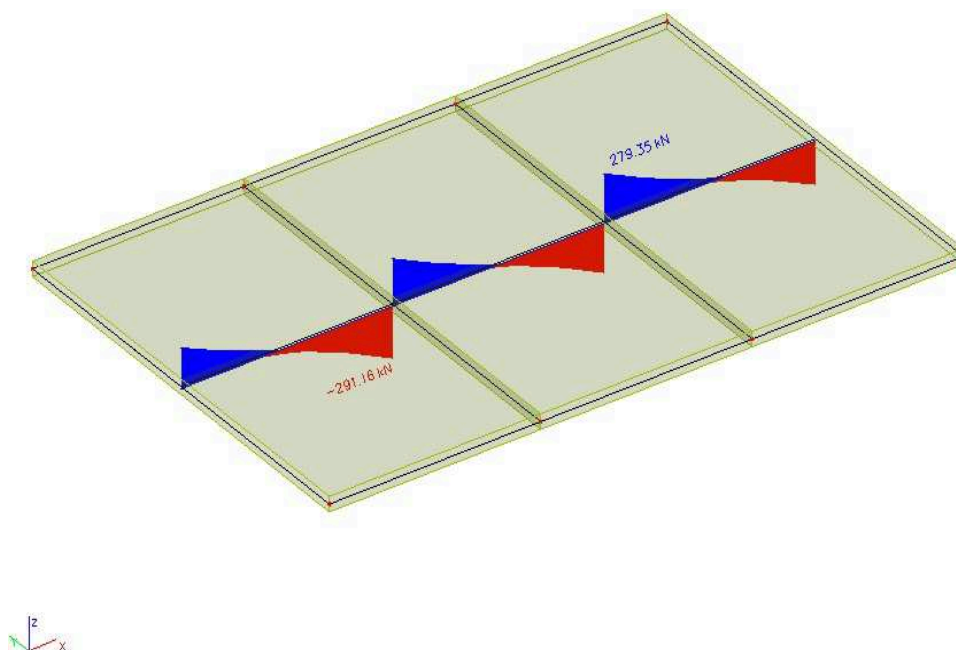
Přesahová délka pro výztuže Ø18 mm

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,507 = 0,761 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,761 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}, \text{ návrh přesahové délky } 0,8 \text{ m}$$

3.4.3 Návrh smykové výztuže



Obr. 3.19 Průběh posouvajících sil průvlaku

Smyková výztuž u podpor

Pro výpočet byla užitá $V_{Ed} = 291,16$ kN dle Tab. 3.10

Vycházíme z požadavku

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \text{ při návrhu } \cot\theta = 2,5; \alpha = 75^\circ$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$\min(V_{Rd,max}) = \frac{v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot \cot\theta}{1 + \cot^2\theta} = \frac{0,528 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 2,5}{1 + 2,5^2} = 855,36 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 291,16 \text{ kN} \leq \min(V_{Rd,max}) = 855,36 \text{ kN} \rightarrow \text{průřez i třída betonu VYHOVUJE}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,261 = 0,235 \text{ m}$$

potřebný stupeň vyztužení smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{|V_{Ed}|}{f_{yd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{291,16 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,235 \cdot 2,5} = 0,00114$$

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{30})}{500} = 0,000000876$$

$\rho_w \geq \rho_{w,min} \rightarrow$ **podmínka minimálního stupně vyztužení je splněna**

Návrh plochy smykové výztuže

$$A_{sw} = 100,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{2 \text{ Ø}8 \text{ mm}}$$

Požadovaná maximální vzdálenost třmínků

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_w} = \frac{100,6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,00114} = 88,22 \text{ mm}$$

návrh $s = 80 \text{ mm}$

$s = 170 \text{ mm} \leq s_{max} = (0,75d; 400 \text{ mm}) \rightarrow$ **konstrukční požadavek splněn**

Maximální vzdálenost třmínků dle požadavku EN 1992-1-1[3]

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot d (1 + \cot 75^\circ) = 0,344 \text{ m}$$

$$s = 0,08 \text{ m} \leq s_{max} = 0,344 \text{ m}$$

Návrh vzdálenosti třmínků $s=0,17 \text{ m}$ v místech uložení sloup, což vyhovuje obou předchozím podmínkám dle EN 1992-1-1[3].

Délka oblasti pro osovou vzdálenost třmínků 0,08 m

$$\Delta l = z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) = 0,235 \cdot (2,5 + \cot 75^\circ) = 0,650 \text{ m}$$

Posouzení návrhu smykové únosnosti

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)}{s} = \frac{106 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 0,235 \cdot \sin\alpha \cdot (2,5 + \cot\alpha)}{0,08}$$
$$= 343,47 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 3 \text{ kN} > V_{Ed} = 279,29 \text{ kN} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Smyková výztuž v poli průvlaku

vzdálenost pole budeme počítat $\Delta l = 650 \text{ mm}$ od podpory, kterému dle programu SCIA[9] odpovídá posouvající síla $V_{Ed}=151,15 \text{ kN}$

Vycházíme z předchozích požadavků .

potřebný stupeň vyztužení smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{|V_{ed}|}{f_{yd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{151,15 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,235 \cdot 2,5} = 0,00592$$

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{30})}{500} = 0,000000876$$

$\rho_w \geq \rho_{w,min} \rightarrow$ **podmínka minimálního stupně vyztužení je splněna**

Návrh plochy smykové výztuže

$$A_{sw} = 100,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{2 \text{ } \varnothing R8}$$

Požadovaná maximální vzdálenost třmínků

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_w} = \frac{100,6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,00592} = 170 \text{ mm}$$

návrh $s = 170 \text{ mm}$

$s = 170 \text{ mm} \leq s_{max} = (0,75d; 400 \text{ mm}) \rightarrow$ **konstrukční požadavek splněn**

Maximální vzdálenost třmínků dle požadavku EN 1992-1-1[3]

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot d(1 + \cot 75^\circ) = 0,248 \text{ m}$$

$$s = 0,17 \text{ m} \leq s_{max} = 0,248 \text{ m}$$

Návrh vzdálenosti třmínků $s=0,170 \text{ m}$ v místech uložení sloup, což vyhovuje obou předchozím podmínkám dle EN 1992-1-1[3].

Posouzení návrhu smykové únosnosti

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)}{s} = \frac{106 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 0,235 \cdot \sin\alpha \cdot (2,5 + \cot\alpha)}{0,17}$$

$$V_{Rd,s} = 161,59 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 161,59 \text{ kN} > V_{Ed} = 151,15 \text{ kN} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

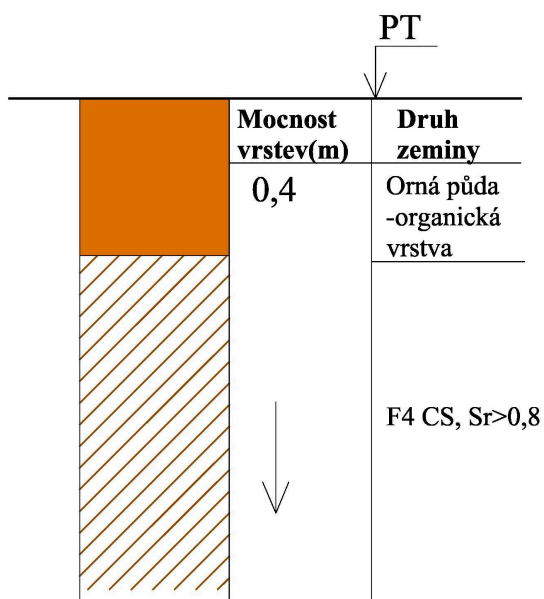
3.5 Základové patky

Základové patky jsou posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Vycházíme z předpokladu, kdy nesmí být překročeno kontaktní napětí v základové spáře, aby se nevytvořily smykové plochy zaboření základu. Základní podmínka $\sigma_{de} \leq R_d$.

3.5.1 Návrh základové patky dle I.MS

Tab. 3.11 Výstupní hodnoty z SCIA[9]

Kombinace č.	R_z (kN)	R_y (kNm)	R_x (kNm)	M_x (kN)	M_y (kN)
CO67/1	-1320,82	2,06	0,99	4,08	1,39
CO119/3	-505,47	24,34	18,81	39,16	0,56
CO101/4	-319,69	3,76	27,26	0,04	49,09



Obr. 3.20 Půdní profil

Základová půda je tvořena písčitým jílem pevné konzistence

Tab. 3.12 Vlastnosti zeminy

Název veličiny	F4 CS, pevná konzistence
Objemová hmotnost	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
Charakteristická soudržnost	$c_u = 18 \text{ kPa}$
Char.úhel vnitřního tření	$\varphi_u = 24,5^\circ$
Poissonovo číslo	$\nu = 0,35$

Modul přetvárnosti	$E_{\text{def}}=8 \text{ MPa}$
--------------------	--------------------------------

Navrhnuté rozměry

$$b=1,8 \quad l=1,8\text{m} \quad d_1=0,6 \text{ m}$$

Výpočtové charakteristiky zeminy

$$C_d = \frac{C_u}{\gamma_{Mc}} = \frac{18}{2} = 9 \text{ kPa}$$

Výpočtový úhel vnitř.tření

$$\varphi_d = \frac{\varphi_u}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{24,5}{1,5} = 20,5^\circ \quad \gamma_{m\varphi} = 1,5$$

Návrh půdorysných rozměrů

II. Geotechnická kategorie → Návrh rozměrů patky $l=b=1,8 \text{ m}$

Excentricita

$$e_y = \frac{M_{dey} + H_{dey} \cdot d_1}{V_{de} + G_{de}} = \frac{1,39 + 2,06 \cdot 0,6}{1320,82} = 0,0031 \text{ m}$$

$$e_x = \frac{M_{dex} + H_{dex} \cdot d_1}{V_{de} + G_{de}} = \frac{4,08 + 0,99 \cdot 0,6}{1320,82} = 0,0018 \text{ m}$$

Tíha základové patky

$$G_{de} = b \cdot l \cdot h \cdot \gamma_{bet} \cdot \gamma_z + Q_{desky} = 1,8 \cdot 1,8 \cdot 0,6 \cdot 25 \cdot 1,1 + 125 = 178,46 \text{ kN}$$

Efektivní rozměry patky

$$b_{ef} = b + 2e_x = 1,8 + 2 \cdot 0,0031 = 1,794 \text{ m}$$

$$l_{ef} = l + 2e_y = 1,8 + 2 \cdot 0,0018 = 1,796 \text{ m}$$

$$A_{ef} = 3,22 \text{ m}^2$$

Kontaktní napětí v základové spáře

$$\sigma_{de} = \frac{V_{de} + G_{de}}{A_{ef}} = \frac{1320,83 + 178,46}{3,22} = 466,25 \text{ kPa}$$

Součinitel únosnosti

$$N_d = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{tg\varphi_d} = tg^2 \left(45^\circ + \frac{24,5^\circ}{2} \right) \cdot e^{tg20,5^\circ} = 7,823$$

$$N_b = 1,5(N_d - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_d = 1,5(7,823 - 1) \cdot \operatorname{tg} 20,5^\circ = 3,827$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \operatorname{cotg} \varphi_d = (1,907 - 1) \cdot \operatorname{cotg} 20,5^\circ = 18,250$$

Součinitel tvaru základu

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{l} = 1 - 0,3 \cdot \frac{1,8}{5} = 0,7$$

$$S_c = \frac{s_d \cdot N_d - 1}{N_d} - 1 = \frac{1,35 \cdot 7,823 - 1}{7,823} - 1 = 1,222$$

$$S_d = 1 + \frac{b}{l} \sin \varphi_d = 1 + \frac{1,8}{5} \sin 20,5^\circ = 1,350$$

Součinitel vlivu hloubky založení

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{1,8}} = 1,082$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \sin 2\varphi_d} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{1,8} \cdot \sin 2 \cdot 20,5^\circ} = 1,068$$

$$d_b = 1$$

Součinitel šikmosti zatížení

$$i_c = i_b = i_d = (1 - \operatorname{tg} \varphi)^2 = 0,997$$

Výpočtová únosnost R_d

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$R_d = 9 \cdot 18,25 \cdot 1,222 \cdot 1,082 \cdot 0,997 + 18,5 \cdot 0,6 \cdot 7,823 \cdot 1,350 \cdot 1,068 \cdot 0,997$$

$$R_d = 466,28 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{de} = 465,25 \text{ kPa} < R_d = 466,28 \text{ kPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržená základová patka vyhovuje na I. MS z hlediska hospodárnosti.

3.5.2 Posouzení na usmyknutí v základové spáře

$$H_{de} = \sqrt{R_y^2 + R_x^2} = \sqrt{2,06^2 + 0,99^2} = 2,29 \text{ kN}$$

$$H_{de} \leq [(V_{de} + G_{de}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + c_d \cdot A_{ef} + S_{pb}] \cdot \gamma_{stp}$$

$$H_{de} \leq [(1320,83 + 178,46) \cdot \operatorname{tg} 20,5^\circ + 9 \cdot 3,222 + 0] \cdot 0,9$$

$$H_{de} = 2,29 \text{ kN} \leq 530,6 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE na usmyknutí}$$

3.5.3 Posouzení základové patky na II. MS

Provozní kontaktní napětí

$$\sigma_{ds} = \frac{V_{ds}}{A} = \frac{1,5 \cdot 1320,83}{1,8 \cdot 1,8} = 611,49 \text{ kPa}$$

Napětí na základové spáře

$$\sigma_{ord} = \gamma \cdot d = 18,5 \cdot 1,2 = 22,2 \text{ kPa}$$

Přetížení na základové spáře

$$\sigma_{ol} = \sigma_{ds} - \sigma_{ord} = 611,49 - 22,2 = 589,29 \text{ kPa}$$

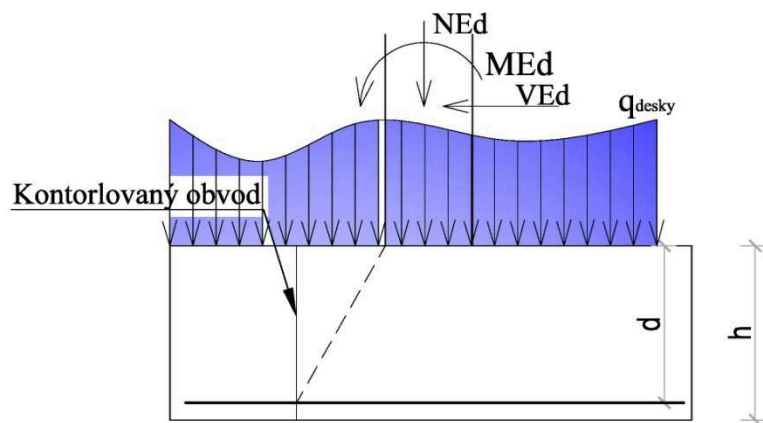
Sednutí základu dle teorie pružnosti

$$s \leq s_{m,lim} = 60 \text{ mm}$$

$$s = \frac{\sigma_{ol} \cdot b \cdot \alpha}{E_{def}} (1 - \nu^2) \cdot m_r = \frac{589,29 \cdot 1,8 \cdot 0,5}{8000} (1 - 0,35^2) \cdot 1 = 0,0582 \text{ m}$$

$$s = 58,2 \text{ mm} \leq s_{m,lim} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

3.5.4 Protlačení základové patky



Obr. 3.21 Zatížení základové patky

Krycí vrstva

Hlavní výztuž podélná

$$\phi = 12 \text{ mm} \quad h = 0,3 \text{ m}$$

$$c_{min} = (12; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 12 \text{ mm}$$

$$c_{min} = (12; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 12 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 12 \text{ mm} (XC1, S3)$$

$$\Delta c_{dev} = 40 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 52 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - (c_{nom} + \phi \cdot 0,5) = h - (50 + 12 \cdot 0,5) = 0,544 \text{ m}$$

$$G_d = \gamma_G \cdot b_f \cdot l_f \cdot h_f \gamma_{bet} = 1,5 \cdot 2,7 \cdot 2,7 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 25 = 147,6 \text{ kN}$$

$$e_b = \frac{M_{Ed} + V_{Ed} \cdot H}{N_{Ed}} = \frac{0,004 + 0,002 \cdot 0,6}{1,32} = 0,0039 \text{ m}$$

$$\sigma_{gd,eff} = \frac{N_{Ed}}{l_f(b_f - 2e_b)} = \frac{1,320}{1,8 \cdot (1,8 - 2 \cdot 0,0039)} = 0,409 \text{ MPa}$$

$$l_{eff} = 0,5(b_f - c_1) + c_1/6 = 0,5(1,8 - 0,3) + 0,3/6 = 0,8 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = 0,5\sigma_{gd}l_f l_{eff}^2 = 0,5 \cdot 0,409 \cdot 1,8 \cdot 0,8^2 = 0,235 \text{ MNm}$$

$$z = 0,85d = 0,85 \cdot 0,544 = 0,464 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z f_{yd}} = \frac{0,235 \text{ MN}}{0,464 \cdot 409 \text{ MPa}} = 12,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{s1}} = \frac{12,72}{1,13} = 10,95 \text{ ks}$$

→ **návrh 12 ØR12**

$$A_{s,prov} = 12 \cdot 0,113 \cdot 10^{-4} = 1,356 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ověření maximální smykové odolnosti kolem sloupu

$$u_0 = 2(c_1 + c_2) = 2(0,3 + 0,3) = 1,2 \text{ m}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,5v f_{cd} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 = 5,28 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = \sigma_{gd,eff} \cdot (b_f l_f - c_1 c_2) = 0,409(1,8 \cdot 1,8 - 0,3 \cdot 0,3) = 1,29 \text{ MN}$$

$$v_{Ed,max} = \frac{V_{Ed,max}}{u_0 d} = \frac{1,29}{1,8 \cdot 0,544} = 1,32 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 5,28 \text{ MPa}$$

Výpočet smykové únosnosti pro $0,5d \leq a \leq 1,5d$

Návrhová únosnost ve smyku

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad k_h = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad \rho_l = \frac{A_{s,prov}}{l_f d}$$

$$v_{Rd,c}(a) = \frac{2d}{a} C_{Rd,c} k_h (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}$$

$$v_{l,min} = 0,035 k_h^{3/2} \sqrt{f_{ck}} \quad v_{l,min}(a) = \frac{2d}{a} v_{l,min}$$

Kontrolní obvod ve vzdálenosti a od líce sloupu

$$u_a = u(a) = 2(c_1 + c_2) + 2\pi a$$

Modul kontrolního obvodu

$$W_a = 0,5c_1^2 + c_1c_2 + 2c_2a + 4a^2 + \pi c_1$$

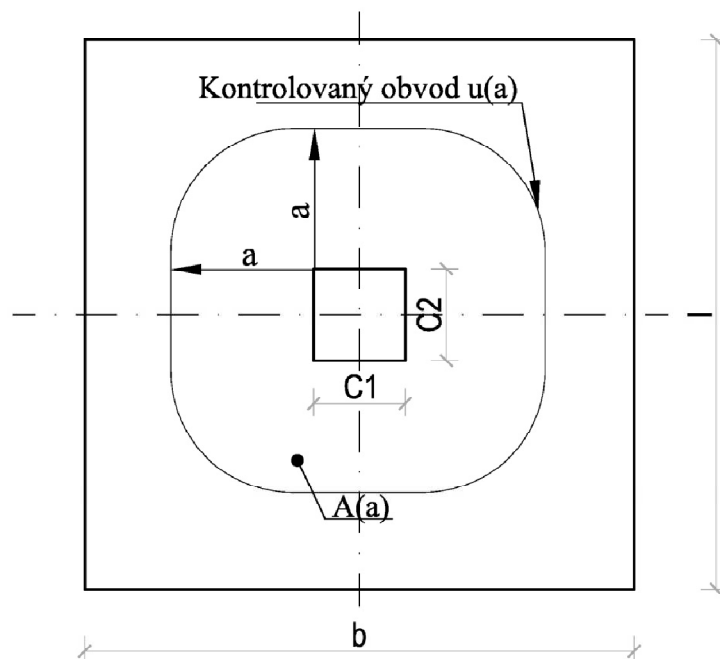
Plocha patky uvnitř kontrolního obvodu

$$A(a) = (c_1 + 2a)(c_2 + 2a) + (\pi - 4)a^2$$

$$V_{Ed,red}(a) = \sigma_{gd} [b_f l_f - A(a)]$$

$$\beta_a = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}$$

$$v_{Ed}(a) = \beta_a \frac{V_{Ed,red}(a)}{du(a)} \quad \Rightarrow \quad v_{Ed}(a) \leq \max(v_{Rd,c}; v_{l,min})$$



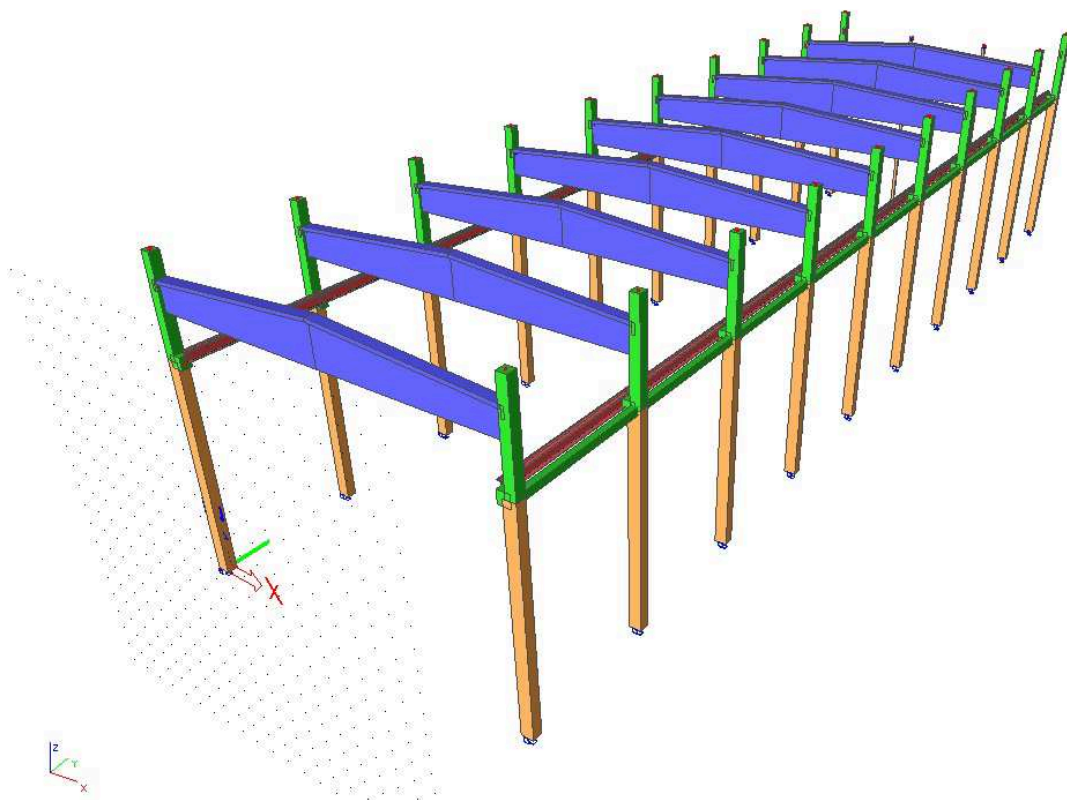
Obr. 3.22 Kontrolní obvody základové patky

Tab. 3.13 Ověření únosnosti základové patky

a	u(a)	W(a)	A(a)	V_{Ed,red(a)}	β_a	v_{Ed(a)}	v_{Rd,c(a)}	v_{l,min(a)}
(m)	(m)	(m ²)	(m ²)	(MN)		(MPa)	(MPa)	(MPa)
0,5	2,9090	1,3605	0,6488	1,1153	1,0040	0,7076	0,5414	1,5611
0,75	3,7635	1,5928	1,1026	0,9200	1,0044	0,4513	0,3609	1,0408
1	4,6181	1,8250	1,6725	0,6747	1,0047	0,2698	0,2707	0,7806
1,25	5,4726	2,0573	2,3587	0,3793	1,0049	0,1281	0,2166	0,6245
1,5	6,3271	2,2896	3,1610	0,0340	1,0051	0,0099	0,1805	0,5204

Patka **VYHOVUJE** na protlačení v celém svém kontrolním obvodě 0,5d-1,5d s výztuží Ø12mm.

4 Návrh konstrukční prvků výrobní haly



Obr. 4.1 Schéma výrobní haly

4.1 Zatížení konstrukce

Určení zatížení se řídí dle ČSN EN 1991[10] jejich kombinace dle ČSN EN 1990. Byly použity standardní návrhové situace dle [1], odst. 6.4.3.2 (3), Rovnice 6.10 a) a 6.10 b)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Hodnoty dílčích součinitelů pro stálá zatížení jsou dosazeny dle [1], Příloha A1, Tab. A1.2 (B) a pro nahodilá zatížení dle Tab. A1.2 (C). Třída spolehlivosti RC2 podle přílohy B čl. B.3 v [1].

4.1.1 Zatížení stálé

Hodnoty stálých zatížení jsou určeny podle objemových hmotností uvedených v [10] nebo dle výrobců jednotlivých materiálů a konstrukčních prvků.

Plochá střecha 5°

Plochá střecha bude tvořena střešními kazetovými panely z firmy Prefa Grygov. Specifikace střešních panelů je uvedena v Tab. 4.1

Tab. 4.1 Specifikace střešních panelů

Název	Délka	Šířka	Výška	Ms (kNm)	Provozní zatížení (kN/m)	Extremní zatížení (kN/m)
SZD 255	5960	1490	255	19,86	6,25	7,95

Jeřábová dráha

Návrh jeřábové dráhy není součástí diplomové práce, proto byla jeřábová dráha převzata na základě specifikací předepsaných výrobcem jeřábů a již posouzené dráhy jeřábu.

4.1.2 Zatížení užité

Zatížení užité se řídí dle ČSN EN 1991[10].

Střecha

Užité zatížení bylo zvoleno na základě způsobu užití ploché střechy, jež je v tomto případě nepřístupná, proto je zvoleno zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 [10]. Výrobce uvádí, že pohyb muže být pouze přes roznášené dřevěné desky, avšak pohyb je pouze omezen nikoliv zakázán.

$$q=0,75 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je uvažováno dle oblasti II. – $s_k=0,90 \text{ kN/m}^2$, tato hodnota byla stanovena pomocí sněhové mapy[11], dle místa stavby.

Vstupní hodnoty

$$\mu_i = 0,8$$

$$C_e = 1$$

$$C_t = 1$$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

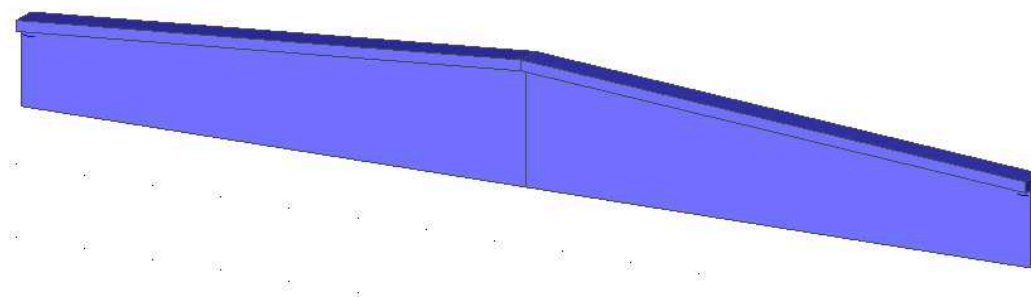
Zatížení větrem

Zatížení větrem je uvažováno dle ČSN EN 1991-1-4, větrná oblast II. $v_{b,0}=25$ [m/s]. Místo stavby se nachází na hranici větrných oblastí (Uničov), proto byla zvolena vyšší hodnota základní rychlosti větru. U budovy předpokládáme, že nebude působit vnitřní tlak (sání), proto nebude zahrnut do výpočtu. Ve výpočtu byla využita funkce v software SCIA[9] 3D vítr, kde byly vymodelovány zatěžovací stavy dle EC 1[13]

Zatížení jeřábem

Do výpočtu byl užit jednonosníkový mostový jeřáb Adamec typové řady A s nosností 5 t na rozpětí haly 15 m viz Příloha č.1. Účinky jeřábu jsou uvedeny v a také součást výstupu ze software SCIA[9]. Skupiny zatížení E a dynamických součinitelů jsou převzaty z ČSN EN 1991-3 [14].

4.2 Střešní vazníky



Obr. 4.2 Sedlový střešní vazník

Tab. 4.2 Výstupní hodnoty pro vazník z SCIA[9]

Kombinace	$N_{Ed}(kN)$	$M_{Edz}(kNm)$	$V_{Edz}(kN)$
CO709/5	-1,50	0	-107,2
CO729/9	7,39	406,69	0

4.2.1 Návrh vazníku

Materiály

Beton C 40/50

$$\alpha_{cc} = 1 \quad f_{ck} = 40 \text{ MPa} \quad \mu = 1 \quad \gamma_c = 1.5$$

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 26,67 \text{ MPa}$$

Výztuž B500B(10 505)

$$\gamma_s = 1,15 \quad f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad E_s = 200 \text{ GPa} \quad E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa} \quad \epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \cdot 1000 = \frac{435}{200\,000} \cdot 1000 = 2,174$$

Podmínka pro tahovou výztuž

$$\xi_{bal\,1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

Krycí vrstva

Třmínky

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm (Prefa výroba)}$$

$$c_{min} = 10 + 5 = 15 \text{ mm}$$

Podélná výztuž Ø14

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (14; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 14 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

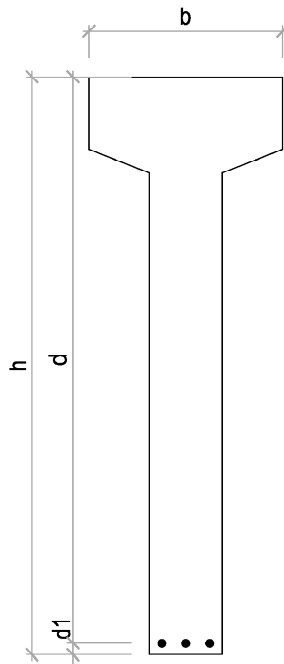
$$c_{min} = 14 + 5 = 19 \text{ mm}$$

Vzhledem k požadovanému krytí třmínků $c_{mon} = 20 \text{ mm}$ bude pro podélnou výztuž krytí

$$c_{min} = 15 + 8 = 23, \text{ zvolíme } c_{mon} = 30 \text{ mm.}$$

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset \cdot 0,5 = 37 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1,7 - 0,037 = 1,663 \text{ m}$$



Obr. 4.3 Přepokládaný tvar vazníku s výztuží

Výška tlačené oblasti

$$\eta = 1 \quad \lambda = 0,8$$

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) = \frac{1,663}{0,8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 406,69}{0,4 \cdot 1,663^2 \cdot 1 \cdot 26,67}} \right)$$

$$x = 0,029 \text{ m}$$

$$\xi = x/d = 0,029/1,663 = 0,0174 < \xi_{bal1} \cdot d = 1,026 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Návrh výztuže

$$A_{s,req} = \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = \frac{0,4 \cdot 1,663 \cdot 26,67}{435} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 406,69}{0,4 \cdot 1,663^2 \cdot 26,67}} \right)$$

$$A_{s,req} = 566,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

→ jelikož plocha výztuže nesplňuje požadavek na minimální plochu výztuže $A_{s,min}$ bude navržená výztuž 6 ØR14 $A_s=924 \text{ mm}^2$.

Kontrola vyztužení

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = 864,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d = 26,61 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_s = 924 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,min} = 864,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$A_s = 924 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} = 26,61 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

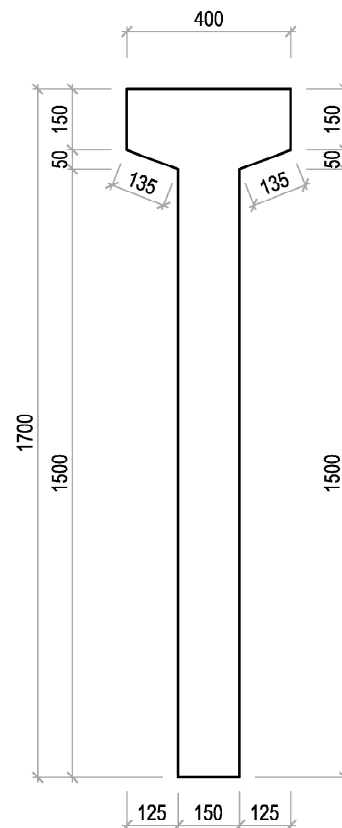
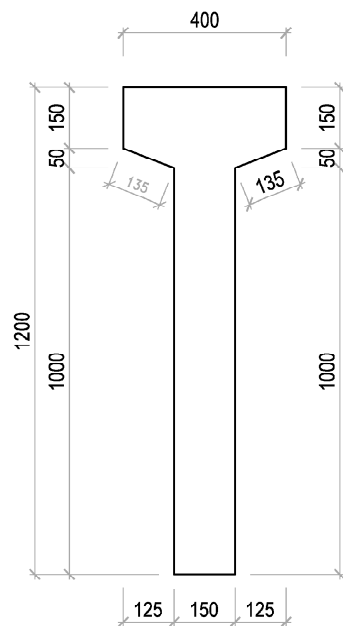
Posouzení výztuže

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{924 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 26,67 \cdot 10^3} = 0,047 \text{ m}$$

$$\xi = x/d = 0,047/1,663 = 0,028 < \xi_{bal1} = 0,617 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd}(d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 924 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3(1,663 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,047)$$

$$M_{Rd} = 660,53 \text{ kNm} > M_{Ed} = 406,69 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 4.4 Průřez vazníku na kraji a uprostřed rozpětí

4.2.2 Návrh smykové výztuže

Pro výpočet byla užitá $V_{Ed} = 107,2$ kN dle Tab. 4.2

Vycházíme z požadavku

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \text{ při návrhu } \cot\theta = 2,5; \alpha = 75^\circ$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{40}{250}\right) = 0,504$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 1,663 = 1,497 \text{ m}$$

$$\min(V_{Rd,max}) = \frac{v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta}{1 + \cot^2\theta} = \frac{0,504 \cdot 0,4 \cdot 1,497 \cdot 2,5}{1 + 2,5^2} = 2774,57 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 107,2 \text{ kN} \leq \min(V_{Rd,max}) = 2774,57 \text{ kN} \rightarrow \text{průřez i třída betonu **VYHOVUJE**}$$

potřebný stupeň vyztužení smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{|V_{Ed}|}{f_{yd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{107,2 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 1,497 \cdot 2,5} = 0,000165$$

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{30})}{500} = 0,000000101$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} \rightarrow \text{podmínka minimálního stupně vyztužení je splněna}$$

Návrh plochy smykové výztuže

$$A_{sw} = 100,6 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \times \text{Ø } 8 \text{ mm}$$

Požadovaná maximální vzdálenost třmínků

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_w} = \frac{100,6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,000165} = 1,527 \text{ m}$$

$$\text{návrh } s = 150 \text{ mm}$$

$$s = 150 \text{ mm} \leq s_{max} = (0,75d; 400 \text{ mm}) \rightarrow \text{konstrukční požadavek splněn}$$

Maximální osová vzdálenost třmínků dle požadavku EN 1992-1-1[3]

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot d (1 + \cot 75^\circ) = 1,581 \text{ m}$$

$$s = 0,09 \text{ m} \leq s_{max} = 1,581 \text{ m}$$

Návrh vzdálenosti třmínků $s=0,3$ m v místech uložení sloupu, což vyhovuje oběma předchozím podmínkám dle EN 1992-1-1[3].

Délka oblasti pro osovou vzdálenost třmínků 0,15 m

$$\Delta l = z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) = 1,497 \cdot (\cot 45^\circ + \cot 45^\circ) = 4,143 \text{ m}$$

Posouzení návrhu smykové únosnosti

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)}{s} = \frac{106 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 1,497 \cdot \sin\alpha \cdot (2,5 + \cot\alpha)}{0,15}$$

$$V_{Rd,s} = 1166,85 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 1166,85 \text{ kN} > V_{Ed} = 107,2 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

V poli navrhujeme $s = 300$ mm

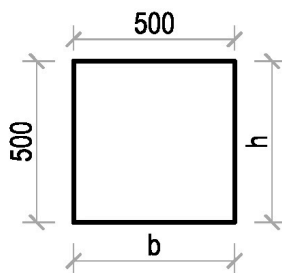
4.3 Sloupy

Tab. 4.3 Výstupní hodnoty z SCIA[9]

Kombinace č.	N_{Ed} (kN)	M_{Edy} (kNm)	M_{Edz} (kNm)	V_{Edy} (kN)	V_{Edz} (kN)
CO197/9	-451,37	104,57	4,38	0,49	21,68

Délka sloupu

$$l = 13 \text{ m}$$



Obr. 4.5 Rozměry sloupu halý

Krycí vrstva výztuže

Třmínků $\phi_s = 8$ mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm dle doporučení ČSN EN 1992-1-1[3]}$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 5 = 15 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{Podélná výztuž } \phi = 25 \text{ mm}}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm dle doporučení ČSN EN 1992-1-1[3]}$$

$$c_{min} = (25; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Jelikož požadované krytí třmínků je $c_{min} = 15 \text{ mm}$, pak celkové krytí bude $c_{nom} = 15 + 8 = 23 \leq 30$, zvolíme $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

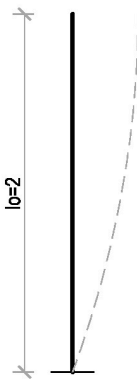
$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi \cdot 0,5 = 30 + 25 \cdot 0,5 = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d = 0,4 - 0,043 = 0,359 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,5 \cdot h - d_1 = 0,5 \cdot 0,5 - 0,043 = 0,208 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,5 \cdot h - d_2 = 0,5 \cdot 0,5 - 0,043 = 0,208 \text{ m}$$

$$z_s = z_1 + z_2 = 0,415 \text{ m}$$



Štíhlost sloupu

$$l_o = 2 \cdot l = 26 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0052}{0,25}} = 0,114 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{26}{0,114} = 180,13$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{451,37}{0,25 \cdot 26,67} = 0,068$$

Limitní štíhlost

$$A = 1; B = 1,1; C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,0068}} = 41,43$$

$\lambda = 180,13 > \lambda_{lim} = 41,43$ je nutné počítat s účinky druhého řádu

Moment druhého řádu podle jmenovité křivosti

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{0,25}{2} = 0,250 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,7} = 0,94 \quad ; \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = \left(\frac{35}{38}\right)^{0,2} = 0,98$$

$$RH = 50$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}\right) \cdot \alpha_1\right) \cdot \alpha_2$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \left(\frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{250}}\right) \cdot 0,94\right) \cdot 0,98 = 1,72$$

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,73$$

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = 0,49$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{(t_0)} = 1,72 \cdot 2,73 \cdot 0,49 = 2,29$$

$$\begin{aligned} \beta_H &= 1,5(1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_0 + 250 \\ &= 1,5(0,012 + 50)^{18} \cdot 250 + 250 \end{aligned}$$

$$\beta_H = 625,04$$

$$\beta_{t,t_0} = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right)^{0,3} = \left(\frac{29200 - 28}{625,04 + 29200 - 28}\right)^{0,3} = 0,994$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \beta_{t,t_0} = 2,29 \cdot 0,994 = 2,28$$

Účinek dotvarování

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{40}{200} - \frac{180,13}{150} = -0,701$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{Ef} = 1 + (0,701 \cdot 2,28) = 0,6$$

Opravný součinitel

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{451,37}{0,25 \cdot 26,67} = 0,068$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{7,85 \cdot 10^3 \cdot 435}{0,25 \cdot 26,67} = 0,51$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,51$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,22 - 0,04}{1,22 - 0,4} = 1,3$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\epsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = 0,011$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,299 \cdot 0,6 \cdot 0,011 = 0,0082$$

Průhyb druhého řádu

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,0082 \cdot \frac{26^2}{8} = 0,69 \text{ m}$$

Moment druhé řádu

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 128,65 \cdot 0,69 = 311,54 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = M + N_{Ed} \cdot e_0 = 104,57 + (-451,37 \cdot 0,02) = 95,54 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 95,54 + 311,54 = 407,09 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_1 = 407,09 - (-451,37) \cdot 0,208 = 500,75 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} |N_{Ed}| &\leq N_{c,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,5 \cdot 0,458 \cdot 20 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$|N_{Ed}| = 451,37 \text{ kN} \leq N_{c,bal} = 3010,27 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah ve výztuži}$$

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed1}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$x = \frac{0,458}{0,8} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 500,75 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,458^2 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3}} \right)$$

$$x = 0,114 \text{ m}$$

Zatřídění oblasti

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,458 = 0,282 \text{ m}$$

$$0 < x = 0,114 < x_{bal,1} = 0,282 \rightarrow \text{oblast III iteračního diagramu}$$

Návrh výztuže

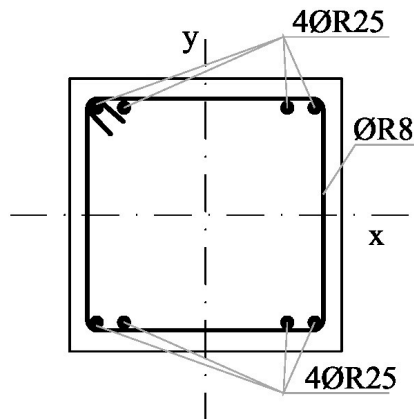
$$A_{s1,req} = \frac{N_{Ed} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_{s1,req} = \frac{-451,37 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,114 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3}{435}$$

$$A_{s1,req} = 1757,9 \text{ mm}^2$$

Navrhujeme výztuž pro tento směr působení momentu za předpokladu symetrického vyztužení $\rightarrow A_{s1}=1964 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \times \text{Ø R25}$

$$A_{s2}=1964 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \times \text{Ø R25}$$



Obr. 4.6 Vyztužený průřez sloupu

Kontrola vyztužení průřezu

$$A_{si,min} = \frac{0,5 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,5 \cdot |451,37|}{435 \cdot 10^3} = 51,98 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{si,min} \geq 0,001 \cdot A_c = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 1964 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{si,min} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 3928 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,ba} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,458 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 26,67 \cdot 10^3 + (1964 - 1964) \cdot 10^3 \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,bal} = 1806,16 \text{ kN} > N_{Ed} = 451,37 \text{ kN} \rightarrow \text{převládá tah}$$

0. bod iteračního diagramu

$$\sigma_s = \epsilon_{c3} \cdot E_s = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3 + (1964 + 1964) \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd0} = -5571,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

1. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd})$$

$$N_{Rd1} = -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 26,67 \cdot 10^3 + 1964 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd1} = -3781,91 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,458 \cdot 26,67 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,458) + 1946 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{Rd1} = 373,36 \text{ kN}$$

2. bod iteračního diagramu

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot f_{yd})$$

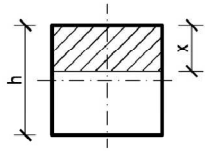
$$N_{Rd,bal} = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,458 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3 + (1964 - 1964) \cdot 435 \cdot 10^3)$$

$$N_{Rd,bal} = -1806,16 \text{ kN}$$

$$M_{RD,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + (A_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot z_1) \cdot f_{yd}$$

$$M_{RD,bal} = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,458 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,458) + (1964 \cdot 10^{-6} \cdot 0,208 + 1964 \cdot 10^{-6} \cdot 0,208) \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$M_{RD,bal} = 755,85 \text{ kNm}$$



3. bod iteračního diagramu

$$x = \frac{N_{Ed} - A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{104,71 - 1964 \cdot 435 \cdot 10^3 + 1964 \cdot 435 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3} =$$

$$x = 0,071 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_2 \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 =$$

$$0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,071 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3 \cdot 0,5(0,4 - 0,8 \cdot 0,208) + 1964 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,208 + 1964 \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,208$$

$$M_{Rd} = 440,31 \text{ kN}$$

$$M_{RD} = 440,31 \text{ kNm} > M_{Ed} = 104,57 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOUJE}$$

4. bod iteračního diagramu

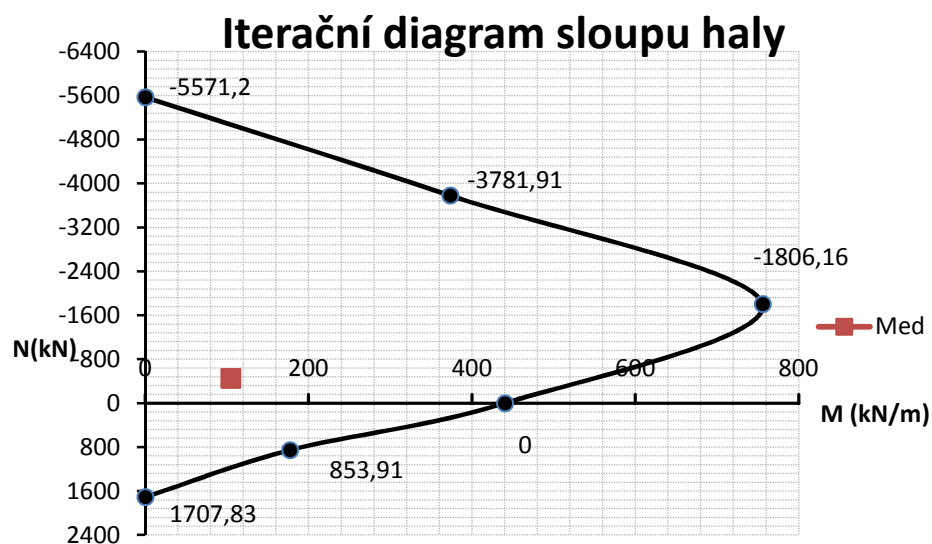
$$N_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 853,91 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} = 177,19 \text{ kNm}$$

5. bod iteračního diagramu

$$N_{Rdt0} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 1707,83 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = A_{s1} \cdot z_1 \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = 0 \text{ kNm}$$



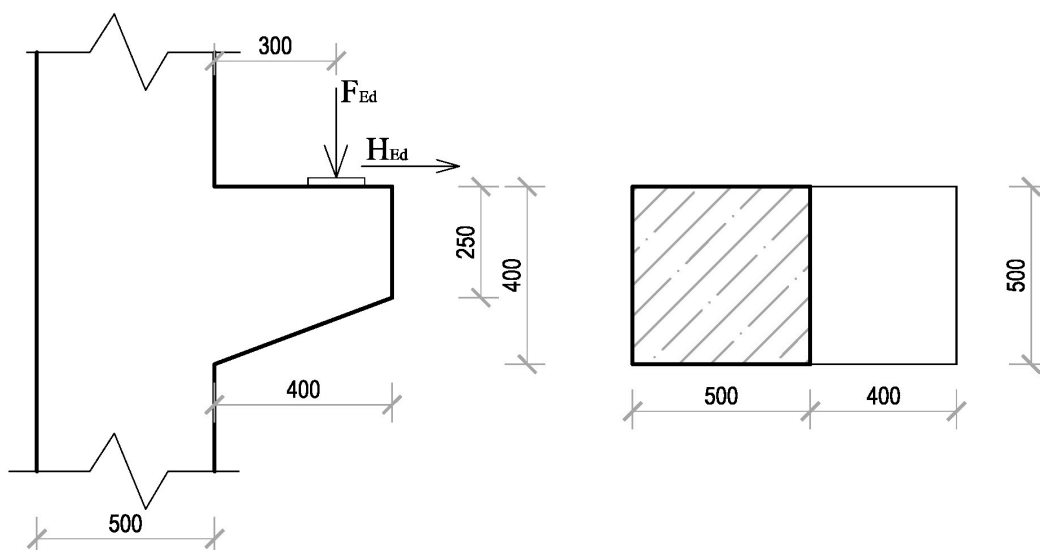
Obr. 4.7 Iterační diagram sloupu haly

4.4 Konzola

Konzola přenáší účinky jeřábové dráhy do konzoly

Tab. 4.1 Výstupní hodnoty z SCIA pro konzolu sloupu

Kombinace č.	N_{Ed} (kN)	M_{Edy} (kNm)
CO1028/1	7,78	233,71
CO1027/1	5,09	240,30



Obr. 4.8 Rozměry konzoly

Material

ten je převzat z předchozího výpočtu konstrukce. Beton 40/50 a ocel 10505.

$$v = 1 - \left(\frac{f_{ck}}{250} \right) = 1 - \left(\frac{40}{250} \right) = 0,84$$

4.4.1 Hlavní tahová výztuž

Uzel typu C-C-C

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot v \cdot f_{cd} = 1 \cdot 0,84 \cdot 26,67 = 22,40 \text{ MPa}$$

Uzel typu C-C-T

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,84 \cdot 26,67 = 19,04 \text{ MPa}$$

Šířka tlačené oblasti

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{240,3 \cdot 10^3}{22,0 \cdot 400} = 26,82 \text{ mm}$$

Rameno síly ke styčníku 1

$$d' = 25 + 10 + 20 = 65 \text{ mm}$$

$$a = a_c + 0,5x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}}(d' + \Delta h) = 350 + 0,5 \cdot 26,82 + \frac{5,09}{F_{Ed}}(65 + 20)$$

$$a = 365,21 \text{ mm}$$

Výška tlačené oblasti

$$d = h - d' = 400 - 65 = 335 \text{ mm}$$

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2x_1 \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}}(d' - \Delta h) \right)}$$

$$y_1 = 335 - \sqrt{335^2 - 2 \cdot 26,82 \left(366,16 + \frac{5,09}{F_{Ed}}(65 - 20) \right)}$$

$$y_1 = 30,80 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,5y_1 = 335 - 0,5 \cdot 30,80 = 319,60 \text{ mm}$$

Hlavní tahová síla

$$F_t = F_{Ed} \left(\frac{a}{z} \right) + H_{Ed} = 240,3 \left(\frac{365,21}{319,60} \right) + 5,09 = 279,68 \text{ kN}$$

Hlavní tahová výztuž

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{279,68 \cdot 10^3}{435} = 643,27 \text{ mm}^2$$

→návrh 4 x ØR16 $A_s=804 \text{ mm}^2$

Základní kotevní délka výztuže

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 3,75 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{435}{3,75} = 0,638 \text{ m}$$

Návrhová kotevní délka

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot \frac{c_d - \phi}{\phi} = 1 - 0,15 \cdot \frac{25 - 16}{16} = 0,916$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 0,916 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,638 = 0,297 \text{ m}$$

$$l_{bd} \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

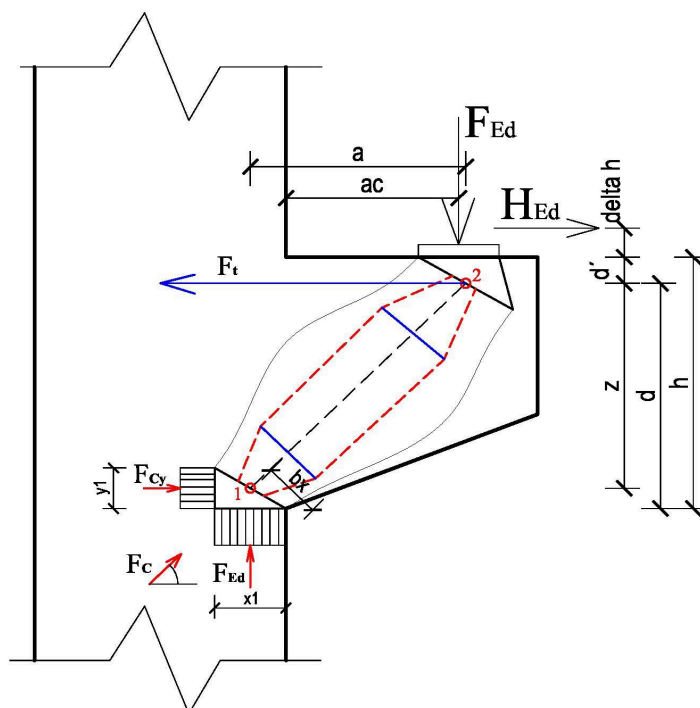
$$l_o = 0,297 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE, návrh kotevní délky 0,3 m}$$

Přesahová délka pro výztuže

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,638 = 0,957 \text{ m}$$

$$l_o \geq l_{o,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \theta; 200 \text{ mm})$$

$$l_o = 0,957 \text{ m} \geq l_{o,min} = 0,200 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE, návrh přesahové délky 1 m}$$



Obr. 4.9 Model příhradové analogie u konzoly odpovídající [15]

4.4.2 Svislá konstrukční výztuž

Redukční součinitel

$$\beta = \frac{a_v}{2d} = \frac{300}{2 \cdot 65} = 0,45$$

Redukovaná posouvající síla

$$\beta \cdot F_{Ed} = 0,45 \cdot 240,3 = 107,60 \text{ kN}$$

Požadovaná plocha svislé výztuže

$$A_{s,req} = \frac{\beta \cdot F_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,45 \cdot 240,3 \cdot 10^3}{435} = 247,47 \text{ mm}^2$$

→ návrh 3 ØR12 $A_s=339 \text{ mm}^2$

4.4.3 Ortogonální výztuž

Sklon vzpěry

$$\theta = \arctg \left(\frac{h - d' - 0,5y_1}{a - 0,5x_1} \right) = \arctg \left(\frac{400 - 65 - 0,5 \cdot 30,80}{a - 0,5 \cdot 26,82} \right) = 0,74 \Rightarrow 42,25^\circ$$

Délka vzpěry

$$H = \sqrt{(h - d' - 0,5y_1)^2 + (a - 0,5x_1)^2}$$

$$H = \sqrt{(400 - 65 - 0,5 \cdot 30,80)^2 + (365,21 - 0,5 \cdot 26,82)^2} = 475,30 \text{ mm}$$

Šířka vzpěry

$$a_w = \frac{150}{\sin 42,25^\circ} = 223,07 \text{ mm}$$

Síla v betonové vzpěře

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{240,3 \cdot 10^3}{\sin 42,25^\circ} = 357,36 \text{ kN}$$

Příčný tah v betonové vzpěře

$$2 \cdot F_t = 0,5 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \left(\frac{a_w}{H} \right) \right) \cdot F_c = 0,5 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \left(\frac{223,07}{475,30} \right) \right) \cdot 357,36$$

$$2 \cdot F_t = 119,98 \text{ kN}$$

Svislá složka příčného tahu

$$2 \cdot F_t \cdot \cos 42,25^\circ = 88,80 \text{ kN}$$

Vodorovná složka příčného tahu

$$2 \cdot F_t \cdot \sin 42,25^\circ = 80,68 \text{ kN}$$

Plocha vodorovné konstrukční výztuže

$$A_{s,req} = \frac{\beta \cdot F_{Ed} + 1,2 \cdot 2 \cdot F_t \cdot \cos 42,25^\circ}{f_{yd}} = \frac{107,60 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 88,80 \cdot 10^3}{435}$$

$$A_{s,req} = 492,57 \text{ mm}^2$$

→ návrh 4 ØR14 A_s=616 mm²

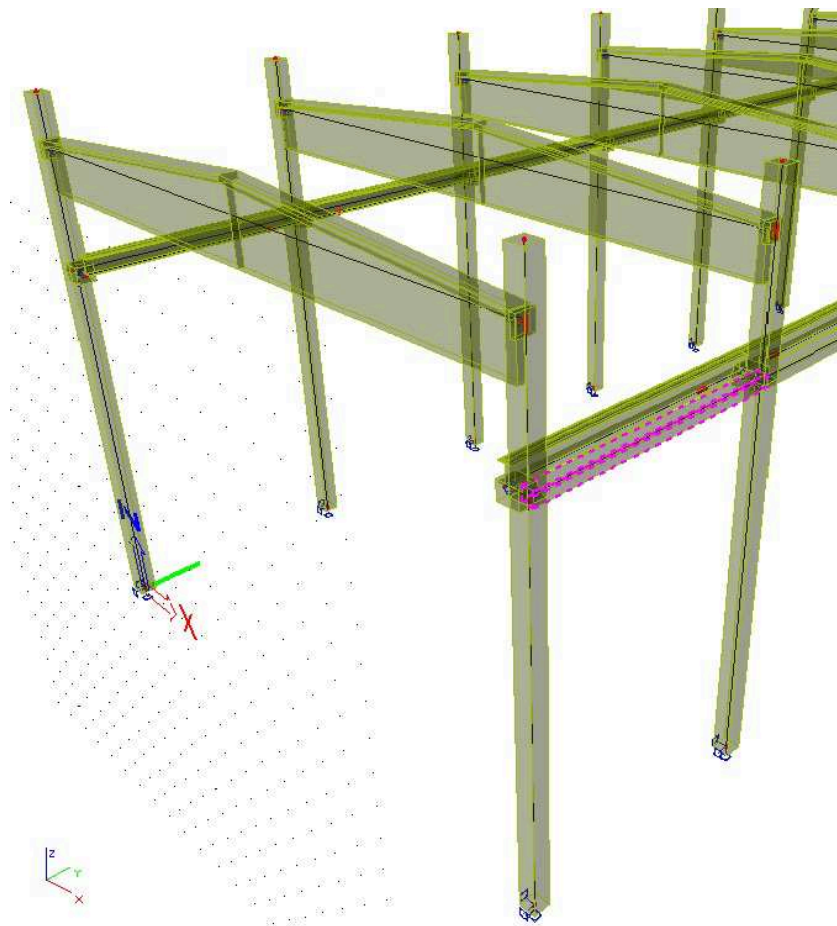
Vodorovná konstrukční výztuž

$$A_{s,req} = \frac{1,2 \cdot 2 \cdot F_t \cdot \sin 42,25^\circ}{f_{yd}} = \frac{1,2 \cdot 80,68 \cdot 10^3}{435} = 222,67 \text{ mm}^2$$

→ návrh 2 ØR12 A_s=226 mm²

4.5 Ztužidlo

Účelem ztužidla je stabilizovat sloupy v podélném směru a roznos zatížení na ostatní sloupy. Z tohoto důvodu je ztužidlo řešeno jako prostý nosník mezi jednotlivými sloupy, tak aby nepřenášel ohybové momenty, ale pouze normálové síly. Rozměry ztužidla jsou navrženy 250 x 300 mm.



Obr. 4.10 Ztužidlo haly

Tab. 4.4 Výstupní hodnoty z SCIA[9]

Kombinace č.	N_{Ed} (kN)	M_{Edy} (kNm)	M_{Edz} (kNm)	V_{Edy} (kN)	V_{Edz} (kN)
CO192/8	3,66	0	0	0	5,52
CO6/14	0,37	11,17	0	0	7,47

Pro výpočet bude uvažována kombinace **CO 6/14**.

Krycí vrstva

Třmínky

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm (Prefa výroba)}$$

$$c_{min} = 10 + 5 = 15 \text{ mm}$$

Podélná výztuž Ø12

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (12; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 12 + 5 = 17 \text{ mm}$$

Vzhledem k požadovanému krytí třmínků $c_{mon} = 20 \text{ mm}$ bude pro podélnou výztuž krytí

$$c_{min} = 15 + 8 = 23, \text{ zvolíme } c_{mon} = 25 \text{ mm.}$$

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset \cdot 0,5 = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1,7 - 0,037 = 0,269 \text{ m}$$

Návrh výztuže

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{11,17}{0,25 \cdot 0,269^2 \cdot 1 \cdot 26,67} = 0,023$$

z tabulek

$$\xi = 0,0293 < \xi_{bal1} = 0,617 \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

$$\zeta = 0,987$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{11,17}{0,987 \cdot 0,269 \cdot 435 \cdot 10^3} = 96,64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \text{návrh výztuže } 2 \text{ ØR12 } A_s = 226 \text{ mm}^2$$

Kontrola vyztužení

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = 87,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d = 2,69 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_s = 226 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,min} = 87,43 \cdot 10^{-6} m^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = 226 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,max} = 2,69 \cdot 10^{-3} m^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

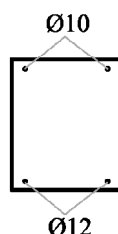
Posouzení výztuže

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{226 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3}{0,25 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 26,67 \cdot 10^3} = 0,018 m$$

$$\xi = x/d = 0,018/0,269 = 0,068 < \xi_{bal1} = 0,617 m \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

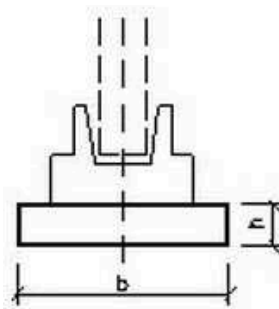
$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd}(d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 226 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3(0,269 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,018)$$

$$M_{Rd} = 25,71 kNm > M_{Ed} = 11,17 kNm \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 4.11 Výztuž ztužidla

4.6 Základová patka

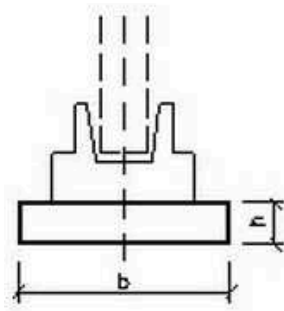


Pro účely prefabrikované haly jsou uvažovány kalichové patky viz . Samotné kalichy jsou dopředu počítány na maximální únosnost při maximální velikosti sloupu, pro který je kalich určen, v tomto případě 400 x 400 mm. Proto předmětem návrhu je spodní část patky přenášející zatížení do podloží. Druh geologického profilu je převzat z předchozího výpočtu.

Tab. 4.5 Výstupní hodnoty z SCIA [9]

Kombinace č.	$R_z(kN)$	$R_y(kNm)$	$R_x(kNm)$	$M_x(kN)$	$M_y(kN)$
CO67/1	-1320,82	2,06	0,99	4,08	1,39

CO119/3	-505,47	24,34	18,81	39,16	0,56
CO101/4	-319,69	3,76	27,26	0,04	49,09

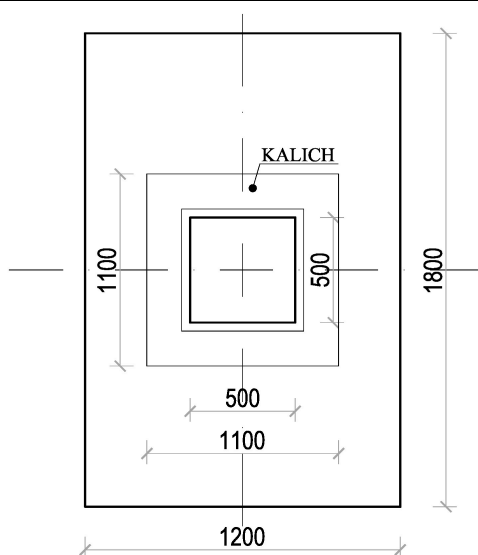


Obr. 4.12 Kalichová základová patka

Základová půda je tvořena písčitým jílem pevné konzistence

Tab. 4.6 Přehled základních vlastností

Název veličiny	F4 CS, pevná konzistence
Objemová hmotnost	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
Charakteristická soudržnost	$c_u = 18 \text{ kPa}$
Char.úhel vnitřního tření	$\varphi_u = 24,5^\circ$
Poissonovo číslo	$\nu = 0,35$
Modul přetvárnosti	$E_{\text{def}} = 8 \text{ MPa}$



Obr. 4.13 Rozměry základové patky

Navrhnuté rozměry

$b=1,2$; $l=1,8$ m; $d_1=0,6$ m (výška stupně)

Výpočtové charakteristiky zeminy

$$C_d = \frac{C_u}{\gamma_{Mc}} = \frac{18}{2} = 9 \text{ kPa}$$

Výpočtový úhel vnitř. tření

$$\varphi_d = \frac{\varphi_u}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{24,5}{1,5} = 20,5^\circ \quad \gamma_{m\varphi} = 1,5$$

Excentricita

$$e_y = \frac{M_{dey} + H_{dey} \cdot d_1}{V_{de} + G_{de}} = \frac{1,37 + 0,49 \cdot 1,3}{451,37} = 0,1786 \text{ m}$$

$$e_x = \frac{M_{dex} + H_{dex} \cdot d_1}{V_{de} + G_{de}} = \frac{104,57 + 21,68 \cdot 0,6}{451,37} = 0,0025 \text{ m}$$

Tíha základové patky

$$G_{de} = b \cdot l \cdot h \cdot \gamma_{bet} \cdot \gamma_z + Q_{trámový \text{ základ}} = 1,2 \cdot 1,8 \cdot 0,6 \cdot 25 \cdot 1,1 + 138,84 = 182,58 \text{ kN}$$

Efektivní rozměry patky

$$b_{ef} = b - 2e_x = 1,2 - 2 \cdot 0,1786 = 0,843 \text{ m}$$

$$l_{ef} = l - 2e_y = 1,8 - 2 \cdot 0,0025 = 1,795 \text{ m}$$

$$A_{ef} = 1,513 \text{ m}^2$$

Kontaktní napětí v základové spáře

$$\sigma_{de} = \frac{V_{de} + G_{de}}{A_{ef}} = \frac{451,37 + 182,58}{1,51} = 419,07 \text{ kPa}$$

Součinitel únosnosti

$$N_d = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{tg\varphi_d} = tg^2 \left(45^\circ + \frac{24,5^\circ}{2} \right) \cdot e^{tg20,5^\circ} = 7,823$$

$$N_b = 1,5(N_d - 1) \cdot tg\varphi_d = 1,5(7,823 - 1) \cdot tg20,5^\circ = 3,827$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot cotg\varphi_d = (1,907 - 1) \cdot cotg20,5^\circ = 18,250$$

Součinitelé tvaru základu

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{l} = 1 - 0,3 \cdot \frac{0,843}{1,795} = 0,859$$

$$S_c = \frac{s_d \cdot N_d - 1}{N_d} - 1 = \frac{1,35 \cdot 7,823 - 1}{7,823} - 1 = 1,037$$

$$S_d = 1 + \frac{b}{l} \sin \varphi_d = 1 + \frac{0,843}{1,795} \sin 20,5^\circ = 1,164$$

Součinitel vlivu hloubky založení

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{0,843}} = 1,124$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \sin 2\varphi_d} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{0,843} \cdot \sin 2 \cdot 20,5^\circ} = 1,104$$

$$d_b = 1$$

Součinitel šikmosti zatížení

$$i_c = i_b = i_d = (1 - \operatorname{tg} \varphi)^2 = 0,998$$

Výpočtová únosnost R_d

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$R_d = 9 \cdot 18,25 \cdot 1,037 \cdot 1,124 \cdot 0,998 + 18,5 \cdot 0,6 \cdot 7,823 \cdot 1,164 \cdot 1,104 \cdot 0,998$$

$$R_d = 432,60 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{de} = 419,07 \text{ kPa} < R_d = 432,60 \text{ kPa} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Navržená základová patka vyhovuje na I.MS z hlediska hospodárnosti.

4.6.1 Posouzení na usmýknutí v základové spáře

$$H_{de} = \sqrt{R_y^2 + R_x^2} = \sqrt{0,49^2 + 21,68^2} = 21,68 \text{ kN}$$

$$H_{de} \leq [(V_{de} + G_{de}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + c_d \cdot A_{ef} + S_{pb}] \cdot \gamma_{stp}$$

$$H_{de} \leq [(451,37 + 182,58) \cdot \operatorname{tg} 20,5^\circ + 9 \cdot 1,513 + 0] \cdot 0,9$$

$$H_{de} = 2,29 \text{ kN} \leq 225,58 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE na usmýknutí}$$

4.6.2 Posouzení základové patky na II.MS

Provozní kontaktní napětí

$$\sigma_{ds} = \frac{V_{ds}}{A} = \frac{1,5 \cdot 451,37}{1,2 \cdot 1,8} = 313,45 \text{ kPa}$$

Napětí na základové spáře

$$\sigma_{ord} = \gamma \cdot d = 18,5 \cdot 1,3 = 24,05 \text{ kPa}$$

Přetížení na základové spáře

$$\sigma_{ol} = \sigma_{ds} - \sigma_{ord} = 313,45 - 24,05 = 289,40 \text{ kPa}$$

Sednutí základu dle teorie pružnosti

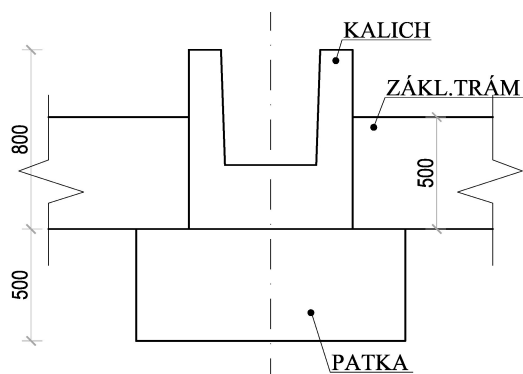
$$s \leq s_{m,lim} = 60 \text{ mm}$$

$$s = \frac{\sigma_{ol} \cdot b \cdot \alpha}{E_{def}} (1 - \nu^2) \cdot m_r = \frac{289,4 \cdot 1,3 \cdot 0,5}{8000} (1 - 0,35^2) \cdot 1 = 0,019 \text{ m}$$

$$s = 19 \text{ mm} \leq s_{m,lim} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.7 Základový trám pod ztužující zedí

Základ budou z prefa dílce a bude uložen na patkách na druhém stupni mezi sloupy v podélném směru haly.

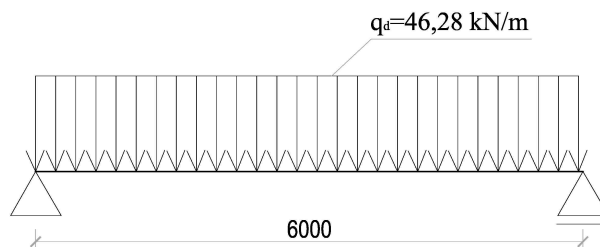


Obr. 4.14 Schéma uložení základového trámu na patce

Tab. 4.7 Zatížení základové trámu

Druh zatížení - stálé	Charakteristické zatížení g_k	$\gamma_{G,sup}$	Návrhové zatížení g_d
-----------------------	---------------------------------	------------------	-------------------------

	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Vlastní hmotnost základu	0,3x0,5x25=3,75	1,35	5,06
Ztužující zeď	0,3x13x8,70=30,54	1,35	41,22
CELKEM - STÁLÉ	34,29		46,28



Obr. 4.15 Výpočtové schéma

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 46,28 \cdot 6^2 = 208,27 \text{ kNm}$$

Reakce

$$R_L = R_R = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{46,28 \cdot 6}{2} = 138,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = R = 138,84 \text{ kN}$$

Krycí vrstva

Třmínky

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (c_{min.b}; c_{min.dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur.add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = (8; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm (Prefa výroba)}$$

$$c_{min} = 10 + 5 = 15 \text{ mm}$$

Podélná výztuž Ø20

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = (20; 10 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$$

Vzhledem k požadovanému krytí třmíneků $c_{mon} = 15 \text{ mm}$ bude pro podélnou výztuž krytí $c_{min} = 15 + 8 = 23 \leq 25$, zvolíme $c_{mon}=25 \text{ mm}$.

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset \cdot 0,5 = 25 + 20 \cdot 0,5 = 35 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,5 - 0,035 = 0,465 \text{ m}$$

Návrh výztuže

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{208,27}{0,30 \cdot 0,465^2 \cdot 1 \cdot 26,67} = 0,120$$

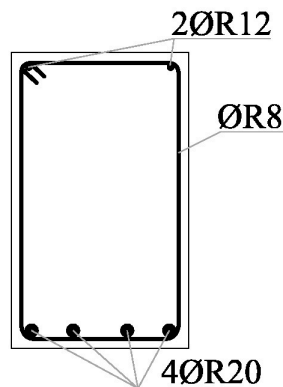
z tabulek

$$\xi = 0,160 < \xi_{bal1} = 0,617 \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

$$\zeta = 0,936$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{208,27}{0,936 \cdot 0,465 \cdot 435 \cdot 10^3} = 1100,99 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

→návrh výztuže 4x ØR20 $A_s = 1257 \text{ mm}^2$



Obr. 4.16 Vyztužený průřez trávu

Kontrola vyztužení

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = 181,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,465 = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_s = 1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,min} = 181,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_s = 1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,max} = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení výztuže

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 26,67 \cdot 10^3} = 0,085 \text{ m}$$

$$\xi = x/d = 0,085/0,465 = 0,184 < \xi_{bal1} = 0,617 \text{ m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,465 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,085)$$

$$M_{Rd} = 235,46 \text{ kNm} > M_{Ed} = 208,27 \text{ kNm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Smyková výztuž

$$V_{Ed} = 138,84 \text{ kN}$$

Vycházíme z požadavku

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \text{ při návrhu } \cot\theta = 2,5; \alpha = 75^\circ$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{40}{250}\right) = 0,46$$

$$\min(V_{Rd,max}) = \frac{v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \cot\theta}{1 + \cot^2\theta} = \frac{0,46 \cdot 26,67 \cdot 0,3 \cdot 2,5}{1 + 2,5^2} = 531,06 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max})$$

$$V_{Ed} = 138,84 \text{ kN} \leq \min(V_{Rd,max}) = 531,06 \text{ kN}$$

→ průřez i třída betonu **VYHOVUJE**

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,465 = 0,419 \text{ m}$$

potřebný stupeň vyztužení smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{|V_{Ed}|}{f_{yd} \cdot b \cdot z \cdot \cot\theta} = \frac{138,84 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,419 \cdot 2,5} = 0,001017$$

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{40})}{500} = 0,001011$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} \rightarrow \textbf{podmínka minimálního stupně vyztužení je splněna}$$

Návrh plochy smykové výztuže

$$A_{sw} = 50,27 \text{ mm}^2 \rightarrow \textbf{ØR8 mm}$$

Požadovaná maximální vzdálenost třmínků

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_w} = \frac{50,27 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 0,001017} = 0,165 \text{ m}$$

návrh $s = 170 \text{ mm}$

$s = 170 \text{ mm} \leq s_{max} = (0,75d; 400 \text{ mm}) \rightarrow$ **konstrukční požadavek splněn**

Návrh vzdálenosti třmínků $s=0,17 \text{ m}$ v místech uložení trámy na patkách

Délka oblasti pro vzdálenost třmínků 0,17 m

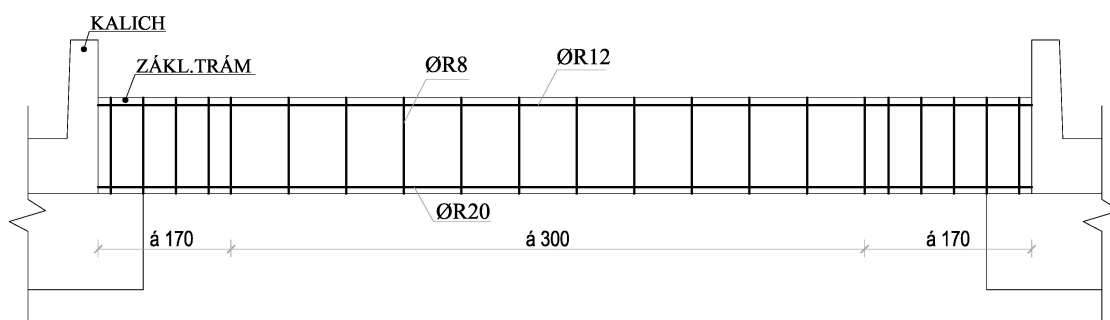
$$\Delta l = z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) = 0,461 \cdot (2,5 + \cot 45^\circ) = 0,419 \text{ m}$$

Posouzení návrhu smykové únosnosti

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)}{s}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{50,27 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 0,419 \cdot \sin\alpha \cdot (2,5 + \cot\alpha)}{0,17} = 331,29 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 331,29 \text{ kN} > V_{Ed} = 138,84 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 4.17 Schéma výztuže základového trámu

4.8 Smyková ztužující stěna haly

Ověření ztužující smykové stěny haly zjednodušujícím postupem dle[15]. Navržená stěna bude z keramických tvárnic Porotherm 30 CB tl. 300 mm.

Tab. 4.8 Základní vstupní hodnoty z SCIA[9]

Kombinace č.	$M_{Ed}(\text{kNm})$	$V_{Ed}(\text{kN})$
CO203/3	101,47	467,86

výška $H=13$ m; délka $L=5,5$ m

Výstřednost

$$e_{Ed} = \max\left(\frac{L}{6}; \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}\right) = \max\left(0,92; \frac{0,101}{0,467}\right) = 0,92 \text{ m}$$

Součinitel podmínek zdiva

$$\gamma_M = 2,0$$

Součinitel pro zdivo s nevyplněnými styčnými spárami

$$C_v = 3$$

Návrhová hodnota počáteční pevnosti zdiva ve smyku při talku rovném nule

$$f_{vd0} = \frac{f_{vk0}}{\gamma_M} = \frac{0,30}{2} = 0,15 \text{ MPa}$$

Normalizovaná pevnost zdiva v tlaku

$$f_b = \delta \cdot \eta \cdot f_u = 1,15 \cdot 1 \cdot 10 = 11,5 \text{ MPa}$$

Návrhová limitní pevnost zdiva ve smyku

$$f_{vdu} = \frac{0,45 f_b}{\gamma_M} = \frac{0,45 \cdot 11,5}{2,0} = 2,59 \text{ MPa}$$

Ověření spolehlivosti

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = c_v \left(\frac{L}{2} - e_{Ed}\right) \cdot t \cdot f_{vd0} + 0,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\gamma_M} \leq 3 \left(\frac{L}{2} - e_{Ed}\right) \cdot t \cdot f_{vdu}$$

$$V_{Rd} = 3 \left(\frac{5,5}{2} - 0,92\right) \cdot 0,3 \cdot 0,15 + 0,4 \cdot \frac{0,446}{2,0} \leq 3 \left(\frac{5,5}{2} - 0,92\right) \cdot 0,3 \cdot 2,59$$

$$V_{Rd} = 1,139 \text{ MN} < 4,426 \text{ MN}$$

$$V_{Ed} = 467 \text{ kN} < V_{Rd} = 1139 \text{ kN} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo ukázat návrh monolitických a prefabrikovaných konstrukcí s posouzením jejích jednotlivých konstrukčních prvků a to i s ohledem na provozní a typologické návaznosti obou částí objektu.

V kapitole 2 je popis vstupních parametrů výpočtu, typu zvolené konstrukce, včetně charakteristiky částí objektu.

Kapitola 3 obsahuje specifikace zatížení a návrh a posouzení monolitické konstrukce administrativní části budovy - sloupů, desky, průvlaků a základových patek. Jednotlivé sloupy, které byly rozděleny na přední a středové, byly v průběhu výpočtu posouzeny dle momentu II. řádu: podle jmenovité křivosti a podle jmenovité tuhosti.

Obsahem kapitoly 4 je návrh prefabrikovaných konstrukčních prvků výrobní haly navazujících na administrativní budovu, a sice sloupy, střešní vazník T-průřezu a konzola pro uložení jeřábové dráhy. Pro statickou analýzu vnitřních sil z hlediska MSU v kapitole 3 i 4 byl použit software SCIA.

Na základě výše uvedeného vyplývá, že cíl diplomové práce byl naplněn.

6 Citovaná literatura

1. ČSN EN 1990 - *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha : ČNI, 2004.
2. ČSN EN 10080 - *Ocel pro výztuž do betonu*. Praha : ČNI, 2005.
3. ČSN EN 1992 - *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha : ČNI, 2005.
4. ČSN EN 206-1 *Beton-výroba, specifikace*.
5. **Bažant, Zdeněk, Čírtek, Ladislav a Štěpánek, Petr.** *Betonové konstrukce II - Speciální problémy betonových montovaných konstrukcí*. Brno : FAST, VUT Brno, 2006.
6. *Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie*. **Semrád, Karel a Szücs, Csaba**. Praha : ČVUT, 2009. FRVŠ 2311/2009 G1.
7. ČSN EN 1997 - *Navrhování geotechnických konstrukcí*. Praha : ČNI, 2005.
8. **Horský, Antonín a Šulista, Roman.** *Podklad pro navrhování*. České Budějovice : Wienerberger cihlářský průmysl, a.s., 2011. 11.
9. **Nemetschek SCIA, s.r.o.** *SCIA engineering 2011.1 - studenská verze*. Praha : autor neznámý, 2011.
10. ČSN EN 1991 - *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha : ČNI, 2004.
11. **CHMI**. www.snehovamapa.cz. *Mapa zatížení sněhem na zemi*. [Online] 2010.
12. **Procházka, Jaroslav.** *Navrhování betonových konstrukcí 1*. Praha : Ediční středisko ČVUT v Praze, 2007.
13. ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení staveb větrem*. Praha : ČNI, 2005.
14. ČSN EN 1991-3 *Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*.
15. ČSN EN 1996 - *Navrhování zděných konstrukcí*. Praha : ČNI, 2007.
16. ČSN 732400- *Kontrola a provádění betonových konstrukcí*.
17. **Zich, Miloš a Bažant, Zdeněk.** *Plošné Betonové konstrukce*. Brno : CERM, 2010.
18. **Košatka, Pavel.** *Příklady navrhování zděných konstrukcí 1*. Praha : ČVUT, 2008.
19. ČSN 73 1201 - *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha : ÚNM, 1987.
20. www.prefagrygov.cz. [Online] Prefa Grygov a.s., 10 2012. [Citace: 3. 10 2012.] <http://www.prefagrygov.cz/produkty/stresni-kazetove-desky-a-zlabovy-nosnik/>.

21. *Navrhování s použitím modelů náhradní příhradoviny.* Šmějkal, Jiří a Procházka, Jaroslav. 5/2009, Praha : BETON TKS, s.r.o., 2009.

7 Seznam obrázků

Obr. 2.1 Schéma pracovních diagramů betonářské oceli [3]	4
Obr. 2.2 Konstrukce administrativní budovy	6
Obr. 2.3 Zjednodušené rozdělení pruhů desky	8
Obr. 2.4 Základní konstrukce výrobní haly se ztužujícími stěnami	8
Obr. 2.5 Průběh momentů při zvedání dle[5]	9
Obr. 3.1 Příčný směr větru	15
Obr. 3.2 Podélný směr větru	16
Obr. 3.3 Znázornění předního sloupu	18
Obr. 3.4 Iterační diagram	30
Obr. 3.5 Vyztužený průřez předního sloupu	31
Obr. 3.6 Iterační diagram	43
Obr. 3.7 Iterační diagram sloupu 3.NP	52
Obr. 3.8 Iterační diagram sloupu 2.NP	57
Obr. 3.9 Iterační diagram sloupu 1.NP	63
Obr. 3.10-Deska 1.NP	64
Obr.3.11-Shrnutí zatížení působících na desku	64
Obr. 3.12- Průběh dimenzačních momentů $m_{y,dim}$	66
Obr. 3.13 Průběh dimenzačních momentů $m_{x,dim}$	72
Obr. 3.14 Výztuž desky při horním okraji	74
Obr. 3.15 Výztuž desky při spodním okraji	77
Obr. 3.16 Vyšetřovaný obvod sloupu	78
Obr.3.17 Řez základním kontrolním obvodem	78
Obr. 3.18 Průběh dimenzačních momentů skrytého průvlaku	81
Obr. 3.19 Průběh posouvajících sil průvlaku	87
Obr. 3.20 Půdní profil	90
Obr. 3.21 Zatížení základové patky	93
Obr. 3.22 Kontrolní obvody základové patky	96
Obr. 4.1 Schéma výrobní haly	97
Obr. 4.2 Sedlový střešní vazník	99
Obr. 4.3 Přepokládaný tvar vazníku s výztuží	101
Obr. 4.4 Průřez vazníku na kraji a uprostřed rozpětí	102
Obr. 4.5 Rozměry sloupu haly	104

Obr. 4.6 Vyztužený průřez sloupu	108
Obr. 4.7 Iterační diagram sloupu haly	111
Obr. 4.8 Rozměry konzoly	111
Obr. 4.9 Model příhradové analogie u konzoly odpovídající [15]	114
Obr. 4.10 Ztužidlo haly	116
Obr. 4.11 Výztuž ztužidla	118
Obr. 4.12 Kalichová základová patka	119
Obr. 4.13 Rozměry základové patky	119
Obr. 4.14 Schéma uložení základového trámu na patce	122
Obr. 4.15 Výpočtové schéma	123
Obr. 4.16 Vyztužený průřez trámu	124
Obr. 4.17 Schéma výztuže základového trámu	126

8 Seznam tabulek

Tab. 2.1 Požadované vlastnosti betonářské výztuže [2].....	4
Tab. 2.2 Vybrané pevnosti a deformační charakteristiky použitých betonů.....	5
Tab. 3.1 Výstupní hodnoty pro patu sloupu z SCIA	19
Tab. 3.2 Výstupní hodnoty pro hlavu sloupu z SCIA	31
Tab. 3.3 Výstupní hodnoty z SCIA pro přední sloup.....	43
Tab. 3.4 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 3.NP.....	46
Tab. 3.5 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 2.NP	52
Tab. 3.6 Výstupní hodnoty z SCIA pro sloup 1.NP.....	58
Tab. 3.7 Hodnoty z výpočtu	66
Tab. 3.8 Výstupní hodnoty z SCIA pro horní výztuž desky	72
Tab. 3.9 Hodnoty k.....	79
Tab. 3.10 Vybrané kombinace vnitřních sil	81
Tab. 3.11 Výstupní hodnoty z SCIA[9]	90
Tab. 3.12 Vlastnosti zeminy.....	90
Tab. 3.13 Ověření únosnosti základové patky	96
Tab. 4.1 Specifikace střešních panelů	98
Tab. 4.2 Výstupní hodnoty pro vazník z SCIA[9]	99
Tab. 4.3 Výstupní hodnoty z SCIA[9]	104
Tab. 4.4 Výstupní hodnoty z SCIA[9]	116
Tab. 4.5 Výstupní hodnoty z SCIA [9]	118
Tab. 4.6 Přehled základních vlastností.....	119
Tab. 4.7 Zatížení základové trámu	122
Tab. 4.8 Základní vstupní hodnoty z SCIA[9]	126

9 Seznam příloh

Příloha č.1: Účinky a specifikace jeřábu	135
Příloha č.2: Specifikace střešní panelů haly	137

ÚČINKY JEŘÁBU**GJMJ 5t / 15m**

PROJEKT :

0

ZATÍŽENÍ	VELIČINA	HODNOTA (kN)	$\gamma_{Q,sup}$
VLASTNÍ TÍHA JEŘÁBU	Q_C	12,16	1,35
ZATÍŽENÍ KLADKOSTROJE	Q_H	26,86	1,35
ZRYCHLENÍ MOSTU JEŘÁBU	H_{L1}	3,67	1,35
	H_{L2}	3,67	1,35
	H_{T1}	3,19	1,35
	H_{T2}	9,75	1,35
PŘÍČENÍ MOSTU JEŘÁBU	Síla na vedení	S	12,01
	$H_{S,1,1,T}$	2,96	1,35
	$H_{S,2,1,T}$	9,04	1,35
ZRYCHLENÍ NEBO BRŽDĚNÍ KOČKY	$H_{T3,1}$	2,69	1,35
	$H_{T3,2}$	0,06	1,35
VÍTR PŘI PROVOZU	F_W	-	-
ZKUŠEBNÍ ZATÍŽENÍ	$Q_{T,125}$	32,97	1,00
	$Q_{T,110}$	29,30	1,00
SÍLY NA NÁRAZNÍK	H_B	0,00	1,05
KLOPNÉ SÍLY	H_{TA}	-	-

Kategorie zvedacího zařízení - Tab. B.1	HC2
---	-----

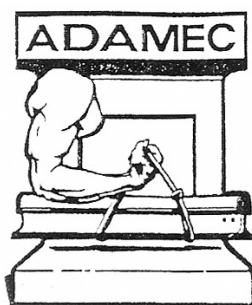
DYNAMICKÉ SOUČiniteLE	$\phi_1 = 1,10$
	$\phi_2 = 1,13$
	$\phi_3 = 1,00$
	$\phi_4 = 1,00$
	$\phi_5 = 1,50$
	$\phi_6 = 1,00$ (stat.)
	$\phi_6 = 1,06$ (dyn.)
	$\phi_7 = 1,25$

		HODNOTA (kN)
KOLOVÝ TLAK - ZATÍŽENÍ CHARAKTERISTICKÉ $Q_{r,k} = \phi_1 \cdot Q_C + \phi_2 \cdot Q_H$	$Q_{r,k}$	43,69
KOLOVÝ TLAK - ZATÍŽENÍ NÁVRHOVÉ $Q_{r,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot Q_{r,k}$	$Q_{r,d}$	58,98

svislé síly celkem	$\Sigma Q_{r,max}$	78,04 kN	$Q_{r,max}$	39,02 kN
	$\Sigma Q_{r,(max)}$	25,56 kN	$Q_{r,(max)}$	12,78 kN
	$\Sigma Q_{r,min}$	24,44 kN	$Q_{r,min}$	12,22 kN
	$\Sigma Q_{r,(min)}$	29,16 kN	$Q_{r,(min)}$	14,58 kN

Skupiny zatížení a dynamických součinitelů viz ČSN EN 1991-3, tab. 2.2

Značení veličin a působení sil viz ČSN EN 1991-3 obr. 2.6; 2.7; 2.8; NA 2.4



ADAMEC-JEŘÁBY

S. r. o.

ČESTLICE 150, 25101 ŘÍČANY u Prahy, tel.272680401 fax.72680400

DVOUNOSNÍKOVÝ MOSTOVÝ JEŘÁB TYPOVÉ ŘADY -AD-

Q	L	A	B	C	D	E	F	P	K _{max}	K _{min}	Gj
t	m	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	kW	kN	kN	Kg
3,2	do 12	2200	1130						23,6	8,5	3000
	do 15	2600	1130						28,4	10,1	4400
	do 18	3400	1230	1100	900	800	1000	7,8	32,4	14,2	5600
	do 24	4000	1335						36,8	18,1	7000
	do 28	4400	1435						47,2	29,4	12200
5,0	do 12	2200	1230						34,5	10,2	3600
	do 15	2600	1330						37,6	11,4	4600
	do 18	3400	1435	1250	900	800	1000	11,6	40,1	14,3	5800
	do 24	4000	1535						50,7	23,4	9800
	do 28	4400	1635						60,8	31,2	12600
8,0	do 12	2200	1550						50,2	13,4	4600
	do 15	2600	1635						54,5	14,2	5400
	do 18	3400	1735	1500	1100	1300	1400	14,4	57,7	16,6	6400
	do 24	4000	1835						67,6	23,5	9600
	do 28	4400	1940						78,1	33,3	13800
12,5	do 12	2200	1635						73,6	15,2	4900
	do 15	2600	1735						78,4	18,4	6400
	do 18	3400	1835	1800	1100	1300	1000	17,9	82,9	20,8	8000
	do 24	4000	1940						93,5	28,6	11800
	do 28	4400	2050						103,3	39,8	16200

Q - nosnost jeřábu

A - rozvor kol příčnicku

C - konstrukční výška kočky

E - rozvor kol kočky

P - instalovaný výkon motorů

K_{max} - maximální kolové zatížení

L - rozpětí jeřábu

B - stavební výška jeřábu

D - dojezd háku

F - rozchod kol kočky

Gj - celková hmotnost s kočkou

K_{min} - minimální kolové zatížení

Jeřáby jsou robustní moderní konstrukce. Mosty typu HEA, HEY, nebo HEK. Jsou provedeny jako otevřené, nebo krabicové nosníky. Podél mostu může být příčná lávka se zábradlím. Přícníky z uzavřených profilů KO, se vsazenými pojezdovými koly, vedenými po kolejkách nákolky, nebo bočními kladkami. Podvozek kočky je na kyvném ramu, zajišťujícím rovnoměrné rozložení tíhy na všechna kola. Kladkostroje od řady R.STAHL, řady SH a AS s mikrozdvíhem a mikropojedem, nebo měničem frakvence s plynulou regulací. Pojezdy jeřábu jsou vybaveny vždy plynulou regulací s nastavitelným režimem rozběhu a brždění. Jeřáby jsou ovládány ze země závěsným tlačítkovým panelem, z kabiny, nebo dálkově rádiem. Jeřáby se dodávají do nosnosti 100 t, rozpětí do 30m do prostředí normálního, pro dílenské, nebo skladovací provozy, do výbušných prostředí, s chemickými vlivy, jeřáby kalící, lící a speciální.

09.02

Uvedené rozměry a technické údaje jsou pouze orientační a budou upřesněny v nabídce.



E střešní kazetové desky



Provozní zatížení : 6,25 kN/mb
Extrémní zatížení : 7,95 kN/mb

Zatížení stropních desek je omezeno uvedenými parametry.

název	délka	šířka	výška	Ms	Is	hmotnost
	mm	mm	mm	kNm	mm	
SZD 255 / 1500 / 6000	5960	1490	255	19,86	5800	
SZD 255 / 1200 / 6000	5960	1190	255	24,14	5800	

10 Seznam výkresů